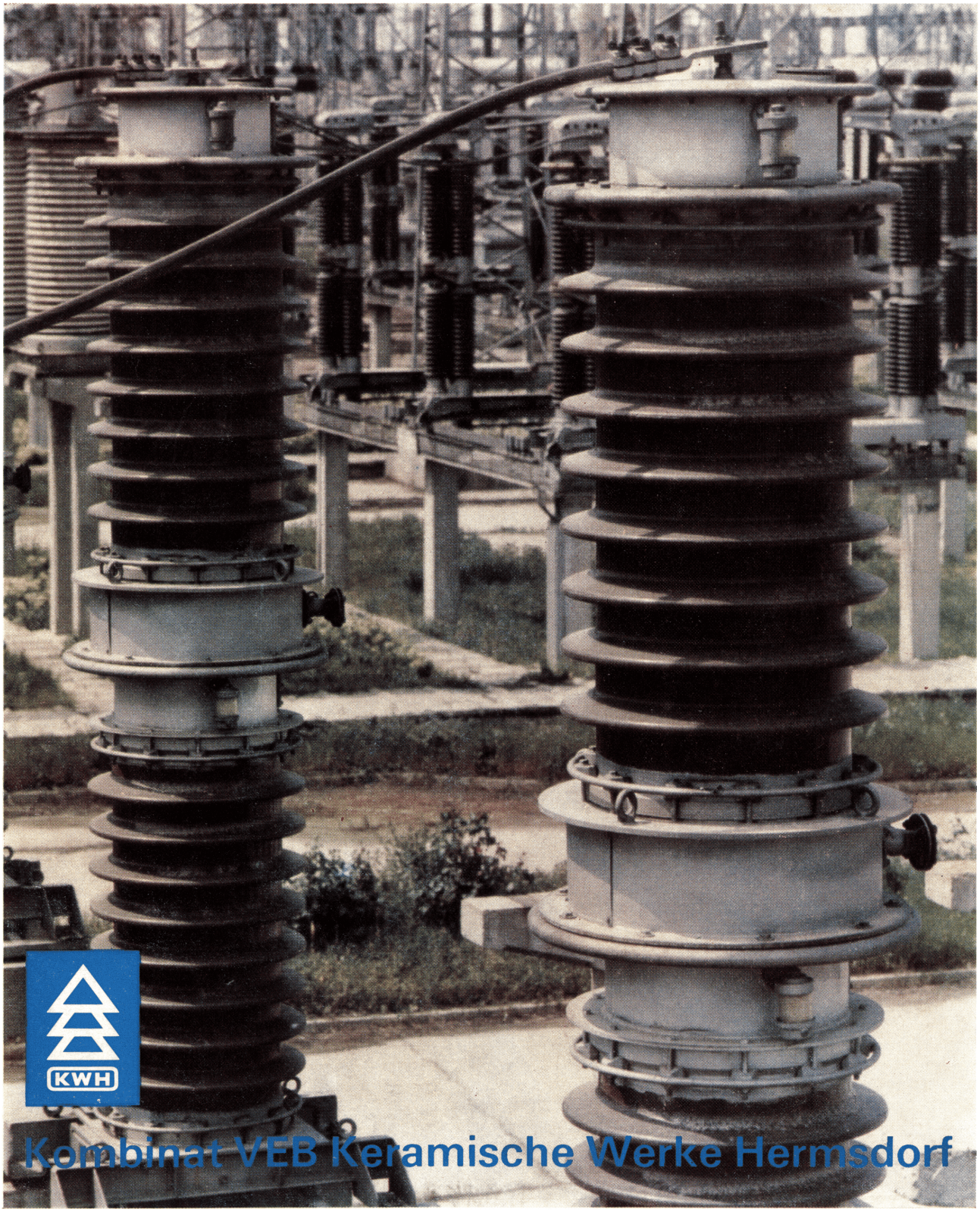
ELEKTRIE 4|86

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN · Postverlagsort für DDR Leipzig · EVP 2,50 Mark · ISSN 0013—5399



0120308

Neu für den Export

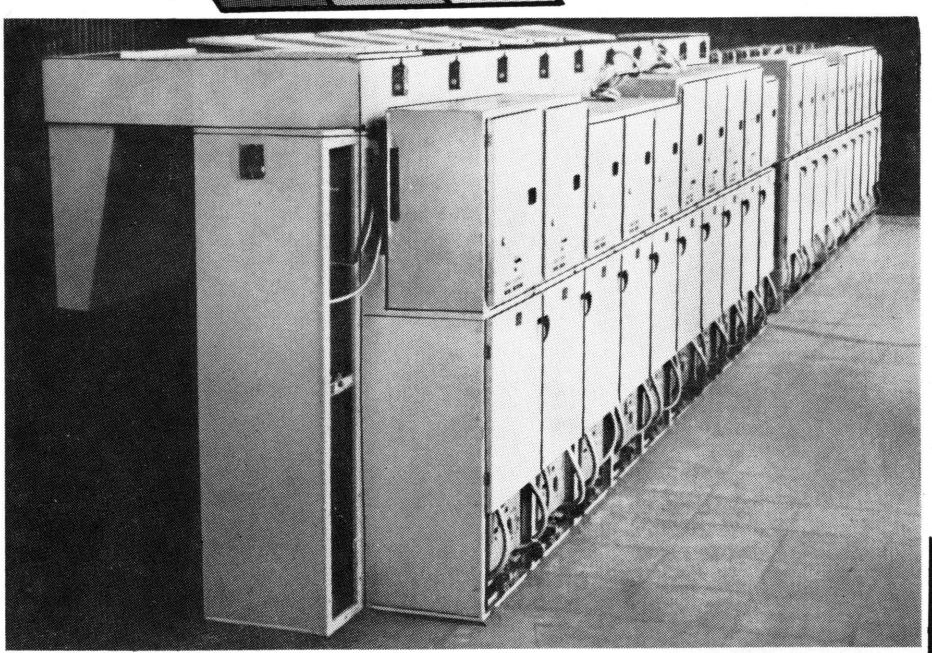
FEHLER SIND AUSGESCHLOSSEN DER AUTOMATISCHE DISPATCHER K-104 HAT DIENST

Die komplette elektrische Schaltwarte (KRU) K-104 ist für die Aufnahme und Weiterverteilung von Drehstrom mit einer Frequenz von 50 Hz und einer Spannung von 6,10 kV geeignet.
Sie wird für den Eigenbedarf von Kraftwerken aller Art, elektrischen Umspannstellen sowie in elektrischen Anlagen von Industriebetrieben verwendet.

Nennstrom der Hauptstromkreise 630 bis 3150 A
Abschaltnennstrom 20 bis 31,5 kA
Kleine Gesamtabmessung

Frontbreite	750 mm
Tiefe	1150 mm
Höhe	2150 mm

Dank dieser Eigenschaften ist die Anlage bequem im Einsatz und bedienungsfreundlich.



Nähere Informationen erhalten Sie von:

V/O „ENERGOMACHEXPORT"
Firma „Energovolt"
UdSSR, 127486, Moskau
Deguninskaja ul. 1/4
Telefon: 487-32-17
Telex: 411965 ENEK SU

ENERGO®
FOREIGN TRADE ASSOCIATION
ENERGOMACHEXPORT
MOSCOW USSR

4|86 ELEKTRIE

40. Jahrgang

Wissenschaftlich-technische Zeitschrift der Elektrotechnik

ISSN 0013-5399

Organ des Fachverbands Elektrotechnik der Kammer der Technik

Die Zeitschrift erhielt die Silberne Ehrenplakette der KDT

Redaktionsbeirat

Vorsitzender:

Prof. Dr. sc. techn. J. Vogel

Mitglieder:

Prof. Dr. sc. techn. S. Altmann · Prof. Dr. sc. techn. H. Böhme · Prof. Dr. sc. techn. P.-K. Budig · Dr. sc. techn. G. Burkhard · Dr.-Ing. D. Flügge · Obering. K. Friedel · Prof. Dr. sc. techn. J. Hoffmann · Dipl.-Ing. H. Kabisch · Prof. Dr.-Ing. habil. R. Lappe · Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. e. h. H.-J. Mau · Prof. Dr. phil. habil. G. Mierdel · Dr. rer. nat. K. Möbius · Prof. Dr. sc. techn. E. Muschick · Prof. Dr. sc. techn. V. Pfeiler · Prof. Dr.-Ing. e. h. K. Pommer · Prof. Dr.-Ing. habil. R. Schönfeld · Obering. Dipl.-Ing. N. Wass · Prof. Dr.-Ing. habil. G. Wunsch

Korrespondenten:

Dr.-Ing. K. Hanella, Ilmenau · Dr.-Ing. W. Jordan, Dresden

Titelbild

Zuverlässigkeit und Energieökonomie bei der Herstellung von Isolierkörpern und Isolatoren bestimmen wesentlich das technologische Niveau in den Anlagen und Geräten der Elektroenergieübertragung und -verteilung.

Mit fast 100jähriger Entwicklungs- und Produktionserfahrung und einem Know-how aus Tausenden von Anwendungsfällen nimmt das Kpmbinat VEB Keramische Werke Hermsdorf (KWH) weltweit eine feste Stellung auf dem Gebiet der Elektrokeramik ein.

Unser Bild zeigt eine KWH-Anlage aus dem Umspannwerk für das Atomkraftwerk in Koslodui, VR Bulgarien. Siehe auch die Beiträge auf den Seiten 125 bis 136 in diesem Heft und ergänzend in ELEKTRIE Heft 6/86.

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

Träger des Ordens Banner der Arbeit

Inhaltsverzeichnis

Seite

Jähn, R.
Der Fachverband Elektrotechnik zum XI. Parteitag der Sozialistischen Einheitspartei Deutschlands 122

Conrad, H.
Zur Neugestaltung der Ausbildung von Ingenieuren der Fachrichtung Elektrotechnik 123

Fachaufsätze

Streubel, H.; Beier, H.
Einfluß chemischer und mechanischer Reinigungsverfahren auf die mechanische Festigkeit von Isolatoren 125

Chrzan, K.; Pohl, Z.; Berndt, L.
Vergleich künstlicher und natürlicher Fremdschichten 128

Laßwitz, G.; Kliemank, E.
Laboratoriums- und Freiluftversuche mit Kunststoffisolatoren 130

Welich, D.; Böhme, H.
Störlichtbögen in Mittelspannungs-Schaltzellen und deren Einfluß auf den Kurzschlußstromverlauf 133

Oswald, B.; Pfeiler, V.; Schulz, W.
Vorschriften und Verfahren zur Kurzschlußstromberechnung für Drehstromsysteme 136

Rausendorf, S.
Anwendung der Linearoptimierung bei der zuverlässigkeitsorientierten Optimierung des elektrischen Regimes 141

Biesenack, H.; Andrae, U.; Neundorf, R.
Zur Materialökonomie bei elektrischen Maschinen 146

Berger, Th.
Kohlebürsten für Gleichstrom-Mikromotoren mit Hohlläufer 147

Joachim, W.; Höhne, B.; Willnow, U.
Kohlebürsten für ausgewählte Kleinspannungsmotoren 149

Ivanov-Smolenski, A. V.
Eine universelle Berechnungsmethode elektromagnetischer Maschinen unter Berücksichtigung der Nutung und ihrer Sättigung 151

Umschau

Fachtagungen 152

Bücher 156

Der Fachverband Elektrotechnik zum XI. Parteitag der Sozialistischen Einheitspartei Deutschlands

Der Fachverband Elektrotechnik unserer sozialistischen Ingenieurorganisation mit allen Mitgliedern, Funktionären und Aktivisten in den Wissenschaftlichen Sektionen, den Fachausschüssen, den KDT-Aktiven der Kombinate und den Zentralen Arbeitsgruppen grüßt die Delegierten des XI. Parteitages der Sozialistischen Einheitspartei Deutschlands!

Die Beschlüsse des XI. Parteitages der SED werden uns Orientierung und Direktive für unsere gesellschaftliche Initiative der KDT in den nächsten Jahren sein.

Die Mitglieder des Fachverbandes Elektrotechnik der KDT haben in Vorbereitung auf den Parteitag alle Kräfte mobilisiert, um hohe Ziele in der Verpflichtungsbewegung „KDT-Initiative XI. Parteitag" zu erreichen.
Die Kollektive des Fachverbandes Elektrotechnik haben durch konkrete KDT-Objekte wichtige gesellschaftliche Beiträge für die Technik-Entwicklung geleistet.

Die Erfolge der Arbeit am Zentralen KDT-Objekt „Steigerung der Ausbeute bei der Fertigung mikroelektronischer Bauelemente" sind Beweise dafür, wie durch eine breite interdisziplinäre Zusammenarbeit unter aktiver Mitwirkung Zentraler Verbände und Bezirksorganisationen, wie Chemische Technik, Montanwissenschaftliche Gesellschaft, Maschinenbau, Bauwesen, Wasser, Silikat sowie der WGMA, Zielstellungen von großer volkswirtschaftlicher Bedeutung verfolgt und in Ehren erfüllt werden können. 18 Arbeitsprogramme und mehr als 50 KDT-Objekte verdeutlichen die Komplexität dieses Beitrages zur Beherrschung und Weiterentwicklung von Schlüsseltechnologien.

Die Initiativen der Kollektive des Fachverbandes Elektrotechnik, z. B. zur Einführung der rechnergestützten Arbeitsweise, insbesondere zur Einführung der CAD/CAM-Technik, machen die Kraft unserer sozialistischen Ingenieur-Organisation deutlich.

Von den vielen Aktivitäten, die durch die Wissenschaftlichen Sektionen, Fachausschüsse und die Kombinatsaktivs initiiert und zielstrebig zu Ehren des Parteitages abgeschlossen wurden, seien einige zur Verdeutlichung der Komplexität unserer Vorhaben genannt

- *Schaffung von grafischer und geometrischer Grundsoftware*
- *Verfahrensentwicklung für Schrittmotoren durch das KDT-Aktiv Kombinat Robotron*
- *Entwurf und Anlauf eines Weiterbildungsprogramms im Rahmen des CAD/CAM-Förderungsplanes*
- *Einführung der rechnergestützten antriebsgerechten Motorenauswahl für das Inland und den Exportmarkt durch das KDT-Aktiv Kombinat Elektromaschinenbau*
- *Software zur Berechnung des Kurzschlußstromes von selbsterregten Niederspannungsgeneratoren durch den Fachunterausschuß 1.19 in Zusammenarbeit mit vielen Anwendern und mit Hochschulen.*

Von neuer komplexer Herangehensweise in der KDT-Arbeit zeugen auch die Aktivitäten der Wissenschaftlichen Sektion für Elektroenergieübertragung und -wandlung im Rahmen des Vorhabens „Reduktion von Leiterwerkstoffen durch den Einsatz der Mikroelektronik" und insbesondere die Leistungen des Fachunterausschusses 1.4. zur „Entwicklung und Einführung von mikrorechnergesteuerten Aufzügen". Neben erheblichen Materialeinsparungen je Aufzug (per Dezember 1985 wurden bereits insgesamt 11760 kg eingespart) sind wesentliche Effekte für den Export und aus der Überarbeitung des Vorschriftenwerks zu erwarten. Von großer wirtschaftlicher Bedeutung sind auch die im Rahmen eines KDT-Objektes entwickelten Inbetriebsetzungshilfsmittel.

Bemerkenswerte Leistungen wurden im Rahmen des Zentralen KDT-Objektes „Erhöhung der energetischen Effektivität des Einsatzes von Industrieöfen und Trocknungsanlagen" erbracht. Durch das KDT-Objekt des KDT-Aktivs im Kombinat VEB Lokomotivbau-Elektrotechnische Werke „Hans Beimler" konnte für die Elektronenstrahlbedampfungsanlage FBA 150 die Entwicklungszeit um acht Monate verkürzt werden.

Das zentrale KDT-Objekt „Energieoptimale Hermetikmotoren" wurde durch den Bezirksverband Dresden mit einer Energieeinsparung von 57 GW/a abgerechnet.

Diese Leistungen, die aus Hunderten von KDT-Objekten resultieren, beweisen die Wirksamkeit einer einheitlichen Führung der KDT-Initiativen durch den Fachverband Elektrotechnik. Viele Lösungen mit Beispielcharakter sind in Vorbereitung des XI. Parteitages der SED abgerechnet worden.

Die Mitglieder des Fachverbandes Elektrotechnik verpflichten sich, die Beschlüsse des XI. Parteitages der SED in neue konkrete KDT-Initiativen zu übertragen; vor allem durch interdisziplinär organisierte KDT-Arbeit auf die Erfüllung und Überbietung der vor uns liegenden Ziele in Wissenschaft und Technik Einfluß zu nehmen und neue schöpferische Beiträge der Ingenieure und Ökonomen zu organisieren.

Die Aufgaben sehen wir in folgenden Schwerpunkten

- *Intensivierung der Forschung und Entwicklung auf den Gebieten der Schlüsseltechnologien*
- *Ingenieurtechnische Lösungen für die Anwendung der Computer-Technik*
- *Vertiefung der Zusammenarbeit zwischen Hersteller und Anwender der Mikroelektronik*
- *Entwicklung von Qualitäts- und Zuverlässigkeits-Sicherungssystemen für Prozesse und Erzeugnisse einschließlich der Diagnosetechnik*
- *Einsatz neuartiger Werkstoffe.*

Alle unsere Anstrengungen zum Wohle des Volkes und zur Sicherung des Friedens!

KDT

Prof. Dr.-Ing. Jähn
Vorsitzender des Fachverbandes Elektrotechnik
der Kammer der Technik

Zur Neugestaltung der Ausbildung von Ingenieuren der Fachrichtung Elektrotechnik

Von

Dr. sc. techn. Harry Conrad

o. Prof. für Elektrotechnik (Leistungselektronik) an der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden

Mitglied des Wissenschaftlichen Beirates für Elektroingenieurwesen des MHF

Vorsitzender der Wissenschaftlichen Sektion Elektrotechnologie des FV Elektrotechnik der KDT

Getragen von der Verantwortung für die Entwicklung der sozialistischen Gesellschaft in ihrer Gesamtheit faßten die Sozialistische Einheitspartei Deutschlands und die Regierung der DDR weitreichende Beschlüsse zur Wissenschafts- und Hochschulpolitik. So wurden in dem Beschluß vom März 1980 die Aufgaben der Universitäten und Hochschulen in der entwickelten sozialistischen Gesellschaft formuliert, die auf dem X. Parteitag der SED und auf der V. Hochschulkonferenz umfassend diskutiert wurden.

Die wachsende Bedeutung des wissenschaftlich-technischen Fortschritts und der Ökonomie für die Intensivierung der gesellschaftlichen Produktion machten grundlegende Beschlüsse zur Neugestaltung der Ausbildung von Ingenieuren und Ökonomen im Juni 1984 und im November 1985 erforderlich, auf deren Grundlage von den Hochschullehrern, Mitarbeitern und Studenten der Universitäten und Hochschulen gemeinsam mit Vertretern der industriellen Praxis erste Vorschläge von neuen Ausbildungskonzeptionen entwickelt wurden.

In Vorbereitung des XI. Parteitages der SED wurden unter Leitung des Wissenschaftlichen Beirates für Elektroingenieurwesen des Ministeriums für Hoch- und Fachschulwesen die Studiendokumente auch für die zukünftige Ausbildung von Ingenieuren der vom Elektroingenieurwesen vertretenen Fachrichtungen im Entwurf konzipiert und allen Partnern zur Diskussion gestellt. Die Fachrichtung (energetische) Elektrotechnik hat dabei eine führende Rolle gespielt, so daß zu Ehren des XI. Parteitages der SED an dieser Stelle die Grundsätze und die bisherigen Ergebnisse der Diskussion an diesem Beispiel vorgestellt werden sollen.

Die Elektrotechnik mit ihrer Verantwortung für die Erzeugung, Übertragung, Verteilung und Wandlung elektrischer Energie wird zunehmend durch wachsende Komplexität und interdisziplinären Charakter der zu lösenden Aufgaben sowie durchgängige Automatisierung der Fertigungs-, Energieversorgungs- und Energiewandlungsprozesse gekennzeichnet. Sie muß sich nicht nur den Anforderungen des wissenschaftlich-technischen Fortschrittes innerhalb ihres Fachgebietes stellen, sondern trägt darüber hinaus maßgeblich zur Durchsetzung des wissenschaftlich-technischen Fortschrittes in ausnahmslos allen Industriezweigen und im Konsumgüterbereich bei und ist ein entscheidender Faktor bei der Intensivierung, der Realisierung von Hoch- und Schlüsseltechnologien und bei der Erfüllung des langfristigen Komplexprogramms des RGW. Damit die elektrotechnische und Anwenderindustrie der DDR auch in Zukunft den von ihr erwarteten Beitrag zum gesellschaftlichen Fortschritt mit hoher Qualität und Spitzenleistungen erfüllen kann, werden an die Absolventen der Fachrichtung Elektrotechnik hohe politische und fachliche Anforderungen gestellt. Die Ausbildung von Ingenieuren der Fachrichtung Elektrotechnik muß dabei sowohl die auch in Zukunft erforderliche und aus der Dynamik der Entwicklung resultierende Disponibilität und Flexibilität des Einsatzes der Absolventen im Reproduktionsprozeß beim Entwurf und bei der Herstellung von elektrotechnischen Betriebsmitteln und/oder der Projektierung und des Betreibens von automatisierten Systemen der energetischen Elektrotechnik, als auch die zukünftigen Anforderungen des wissenschaftlich-technischen Fortschrittes und die sich an den einzelnen Hochschulen herausgebildeten wissenschaftlichen Schulen berücksichtigen und erweiterte Möglichkeiten für Hochschulwechsel, Teilstudium und Weiterbildung schaffen. Besonders müssen Fähigkeiten zur rationellen und effektiven Arbeitsweise durch umfassende Nutzung der modernen Rechentechnik, zur Kooperation und interdisziplinärer Arbeit ausgeprägt und das ökonomische Denken stärker entwickelt werden.

Damit die Absolventen noch in einem kreativen Alter wirksam werden können und aus bildungsökonomischer Sicht, wird wie bisher auf eine 4jährige Ingenieurausbildung orientiert, der sich bei Vorliegen entsprechender Leistungen ein Diplomsemester anschließen kann.

Der berechtigten Forderung nach selbständig-schöpferischem und praxisorientiertem Studium, z. B. durch Forschungsmitarbeit, wird am besten entsprochen, wenn lehrveranstaltungsfreie Zeiten zwischen den Semestern entsprechend gestaltet und das Ingenieurpraktikum beibehalten wird. Um das Studium einerseits in der dazu zur Verfügung stehenden Zeit zu bewältigen und ein internationales Niveau in der Ausbildung des Ingenieurs zu gewährleisten und um andererseits die o. g. Flexibilität zu erreichen, muß das Prinzip einer breiten, soliden Grundlagenausbildung und Vermittlung von Methoden, die den Absolventen befähigen, sich auf die Forderung der Zukunft einzustellen und sich laufend weiterzubilden, verfolgt und auf eine enge Spezialisierung verzichtet werden. 80% des für Lehrveranstaltungen zur Verfügung stehenden Zeitfonds (etwa 2600 Stunden) soll deshalb für die Grundlagenausbildung eingesetzt werden, wobei ein hoher Anteil für alle Fachrichtungen des Elektroingenieurwesens sogar einheitlich gestaltet werden kann. Das Fachstudium, also 20% des Zeitfonds (etwa 600 Stunden), soll nach Kursen organisiert werden, die aus Fachlehrveranstaltungen zusammengestellt werden, die an den wissenschaftlich-technischen Fortschritt und an die Bedürfnisse der Gesellschaft ständig anpaßbar sind und deren Belegung von den Studenten je nach Neigung und Talent oder bereits bekannten Einsatzbedingungen weitgehend selbständig gewählt werden kann. In diesen nach Kursen organisierten und die Wissenschaftsbereiche überstreichenden Vertiefungsausbildung werden in hohem Maße das Prinzip der Einheit von Lehre und Forschung, als Grundlage eines hohen Niveaus der Ausbildung, realisiert und die interdisziplinären Möglichkeiten der Hochschulen voll ausgeschöpft. Diese Vertiefungsausbildung ist aber keinesfalls als eine Spezialisierung in eine bestimmte Richtung anzusehen, sondern soll dem angehenden Ingenieur am Beispiel zeigen, wie man in ein bestimmtes Wissensgebiet tiefer ein-

dringt, welche Gesetzmäßigkeiten dort gelten und welche typischen Arbeitsmethoden maßgebend sind und die Fähigkeit vermitteln, sich selbständig in ein unbekanntes Gebiet einzuarbeiten und darin schöpferisch tätig zu sein. Arbeitsplatzbezogene Spezialkenntnisse müssen dagegen in der Praxis angeeignet und über die vielfältigen Formen der Weiterbildung, in die neben den Hochschulen auch die Betriebsakademien und die Gremien der KDT einbezogen sind, nach dem Studium erworben werden.

Den Grobentwurf eines Studienplanes für das Fachgebiet der energetischen Elektrotechnik, der den genannten Ansprüchen genügt, **zeigt Tafel 1.** Für die Heranbildung sozialistischer Ingenieurpersönlichkeiten ist eine solide gesellschaftswissenschaftliche Grundlagenausbildung von entscheidender Bedeutung. Es erscheint erforderlich, diese Ausbildung entsprechend den Anforderungen der entwickelten sozialistischen Gesellschaft durch ein breites Angebot von fakultativen und wahlobligatorischen Lehrveranstaltungen, z. B. zu Problemen der sozialökonomischen Auswirkungen der Automatisierung, der Wissenschaftsorganisation und Leitungswissenschaft, der Arbeitspsychologie, der Ökologie u.a. zu verändern und zu erweitern. Die Aufnahme eines Komplexes kulturell-ästhetischer Bildung, der außer der Sprachausbildung und des Sports auch Ausbildungsmöglichkeiten in Kunst, Literatur und Geschichte bietet, wäre in die weitere Diskussion einzubeziehen.

Die wissenschaftlich-technische Revolution erfordert eine durchgängige Integration der Informatik und Mikroelektronik in die Ausbildung auch der Ingenieure des Fachgebietes Elektrotechnik. Dem wird im Grundstudium mit der Aufnahme einer neuen Lehrveranstaltung „Grundlagen der Informatik" entsprochen, die auf der diskreten Mathematik aufbaut und Grundstrukturen von Rechnern, die Algorithmisierung und die Programmentwicklung umfaßt.

In der Lehrveranstaltung Mikroelektronik wird besonderer Wert auf die modernen hochintegrierten Bauelemente und die analoge und digitale Schaltungstechnik gelegt. Für die Elektrotechnik ist besonders die konstruktiv-technologische Grundlagenausbildung zu verstärken und inhaltlich neu zu gestalten, wobei von vornherein der Einheit von Konstruktion und Technologie zu entsprechen ist, sowie CAD/CAM-Lösungen und spezielle Technologien der Elektrotechnik einzubeziehen sind.

Um den wissenschaftlichen Schulen und den materiell-technischen und organisatorischen Möglichkeiten der jeweiligen Hochschule Rechnung zu tragen, wird ein bestimmtes Stundenvolumen zur Verfügung der jeweiligen Sektion bereits im Grundstudium vorgesehen. Während die Realisierung des Grundstudiums von allen in der Fachrichtung Elektrotechnik ausbildenden Hochschulen bzw. Sektionen in dem angegebenen Umfang zu fordern ist, berücksichtigen die im Fachstudium der Studenten zur Wahl angebotenen Kurse das jeweilige Wissenschaftsprofil der Hochschule bzw. der Sektion und können sich demzufolge von Hochschule zu Hochschule unterscheiden und sollen so das Teilstudium an einer anderen Einrichtung fördern. Wie bereits festgestellt, müssen die Kurse aber stets den Anforderungen des wissenschaftlich-technischen Fortschrittes und der Praxis zum Zeitpunkt des Abganges der Absolventen von der Hochschule entsprechen.

Durch weitere wahlobligatorische Lehrveranstaltungen, sollen den Studenten weitere Möglichkeiten für die selbständige Zusammenstellung der Kurse eingeräumt werden. Beispiele von einigen ausgewählten Kursen sind in den Tafeln 2 und 3 angegeben.

Es ist offensichtlich, daß die Durchsetzung einer neuen Ausbildungskonzeption sowohl die Ausarbeitung neuer Lehrgebiete als auch die Neugestaltung der Lehrinhalte bestehender Lehrgebiete und die Lösung einer Reihe wissenschaftlich-organisatorischer Probleme erfordert. Dies setzt ein hohes Verantwortungsbewußtsein und die Bereitschaft zur interdisziplinären Zusammenarbeit aller Hochschullehrer voraus.

In Auswertung der Beschlüsse des XI. Parteitages der SED werden die Entwürfe des neuen Studienplanes mit den Hochschullehrern, Praktikern und Studenten weiter diskutiert und zielstrebig vervollkommnet, so daß sie im laufenden Fünfjahrplan in die Hochschulpraxis überführt werden können. EA 2158

Tafel 1. Entwurf eines Studienplanes für die zukünftige Ausbildung von Ingenieuren der Fachrichtung Elektrotechnik

Grundstudium	Fachstudium mit dem Schwerpunkten	
	Entwurf und Herstellung von elektrotechnischen Betriebsmitteln	Projektierung und Betreiben von automatisierten Systemen der energetischen Elektrotechnik
Gesellschaftswissenschaftliche Grundlagen — Marx.-leninist. Grundlagen — Sozialist. Betriebswirtsch. — Arbeitswissenschaften — Kulturell-ästhetische Bildung	Kurs: Entwurf und Herstellung elektrischer Maschinen	Kurs: Elektrische Antriebssysteme
Mathem. naturwissenschaftl. u. kybernetische Grundlagen — Physik — Mathematik — Informatik — Systemtechnik/Techn. Kybernetik	Kurs: Entwurf und Herstellung von Hochspannungsgeräten	Kurs: Elektrotechnologische Prozesse
Konstruktiv-technologische Grundlagen — Werkstoffe — Technische Mechanik — Konstruktion und Technologie	Kurs: Entwurf und Herstellung von elektrotechnologischen Anlagen	Kurs: Elektroenergiesysteme
Fachspezifische Grundlagen — Elektrotechnik — Meßtechnik — Mikroelektronik — Leistungselektronik — Elektr. Maschinen und Antriebe — Hochspannungs- und Energietechnik — Profilbestimmende Grundlagen der Sektion	Kurs: Konstruktion und Technologie . . . und andere Kurse	Kurs: Elektrische Bahnen

Tafel 2. Beispiel für Kurs zur Vertiefung in Entwurf und Herstellung elektrotechnischer Betriebsmittel

	VÜP
Wissenschaftsorganisation	2/0/0
Elektrophysik	2/1/0
Feldtheorie/Techn. Magnetfelder	4/2/0
Softwaretechnologie	2/2/1
Rechnergestützter Entwurf	2/2/0
Isolierstoffe	2/0/1
Theorie elektr. Maschinen oder Hochspannungs- und Hochstromtechnik	3/1/2
Einführung in CAD/CAM	2/1/0
Steuerungstechnik	2/0/1
Technologie der Elektrotechnik	2/0/1
Prozeß- und Fertigungssteuerung	2/2/0
Weitere im Austausch anbietbare wahlobligatorische Lehrveranstaltungen	
Industrielle Formgestaltung	2/0/0
Simulationstechnik	2/1/0
Wahrscheinlichkeit und Statistik	2/1/0
Datenstrukturen und -banken	2/1/1
Computergrafik	2/1/1
CAD/CAM-Prozesse und -Systeme	2/1/1
Mikrorechentechnik	2/1/1
Elektrische Kleinstmaschinen	1/0/1
Meß- und Prüftechnik	1/0/1
u.a.	

V Vorlesung
Ü Übung
P Praktikum

Tafel 3. Beispiel für Kurs zur Vertiefung in elektrische Antriebssysteme Automatisierungstechnik

	VÜP
Sozialökonomische Aspekte der Automatisierungstechnik	2/1/0
Softwaretechnologie	2/2/1
Datenstrukturen und -banken	2/1/1
Simulationstechnik	2/1/1
Mikrorechentechnik	2/1/1
Digitale Regelungen	2/0/1
Leistungselektronik 2	2/1/1
Steuerungstechnik	2/0/1
Rechnergestützter Entwurf von Automatisierungssystemen	2/2/0
Maschinendynamik	2/0/1
Theorie elektrischer Maschinen	3/1/2
Elektrische Kleinstmaschinen	1/0/1
Weitere im Austausch anbietbare wahlobligatorische Lehrveranstaltungen	
Rationelle Energieanwendung	2/0/0
Spezielle Programmiersprachen	1/1/1
Computergrafik	2/1/1
Künstliche Intelligenz	2/2/0
Prozeßanalyse	4/2/0
Einführung in CAD/CAM	2/1/0
Schaltkreisentwurf	4/2/0
Analoge und digitale Schaltungstechnik	6/3/0
u.a.	

Einfluß chemischer und mechanischer Reinigungsverfahren auf die mechanische Festigkeit von Isolatoren

H. Streubel, KDT, Hermsdorf; H. Beier, KDT, Dresden

Isolatoren von Umspannwerken (untere und obere Isolation) und Freileitungen in Verschmutzungsgebieten werden turnusmäßig Methoden der Fremdschichtprophylaxe unterworfen. Die dabei angewandten Verfahren werden von der Art der Anlage (Umspannwerk, Freileitung), der Turnus vom Verschmutzungsgrad der Isolatoren (Fremdschichtklasse) bestimmt.
Eine wirksame Prophylaxe-Methode ist die Isolatorenreinigung, die sowohl bei Isolatoren der unteren Isolation (z.B. Geräteisolierungen) als auch bei Isolatoren der oberen Isolation und Isolatoren von Freileitungen Anwendung findet.
Während Isolatoren der unteren Isolation in spannungsfreiem Zustand mittels Hand mechanisch vor Ort gereinigt werden, werden Isolatoren der oberen Isolation und Freileitungsisolatoren (in der Regel Langstabisolatoren) einer chemisch-mechanischen Behandlung (kombinierte Reinigung) in einem zentralen Reinigungsstützpunkt unterworfen [1] [2].
Es liegt die Vermutung nahe, daß die über Jahre angewandten Prophylaxeverfahren die Glasur und die Kittmedien angreifen und zu einer Minderung der Bruchkraft der Isolatoren und damit zur Einschränkung der Gebrauchstauglichkeit führen [3].
Das zu überprüfen, wurden Versuche an speziellen Versuchsisolatoren (Knüppelisolatoren) einer einheitlichen Charge mit 50 mm Durchmesser, an Langstabisolatoren des Typs LF 75/16/105 und an Stützern FNS 110 durchgeführt.

1. Reinigungsmethoden und Versuchsdurchführung

Um die Wirkung der einzelnen Reinigungsverfahren auf die Festigkeitswerte der Isolatoren kennenzulernen, wurden die Isolatoren den einzelnen Verfahren getrennt unterworfen.

1.1. Chemische Reinigung

Die chemische Reinigung wurde nach zwei unterschiedlichen Verfahren durchgeführt:

Verfahren 1

Dieses üblicherweise angewandte Verfahren besteht aus folgenden Schritten:

— 15 min Eintauchen in ein Bad mit verdünnter Salzsäure
— 60 min Eintauchen in ein Siliconbad (Neutralisationsbad)
— Spülen der Isolatoren mit klarem Wasser.

An jeweils 10 Isolatoren wurden 5, 10 und 20 Reinigungszyklen durchgeführt.

Verfahren 2

Bei diesem Verfahren fand das Glasreinigungsmittel „Hyfax" Anwendung:

— 10 (60) min Eintauchen in ein Hyfax-Bad
— Spülen der Isolatoren mit klarem Wasser.

An den Isolatoren wurde nur 1 Reinigungszyklus realisiert.

1.2. Mechanische Reinigung

Diese Reinigungsart erfolgte in folgenden Verfahrensschritten:

— Anfeuchten der Isolatoren mit klarem Wasser (möglichst angewärmt)
— Auftragen einer Paste, bestehend aus der Handwaschpaste „Nimmweg" und Porzellanmehl mittels eines Lappens und anschließende Reinigung der gesamten Oberfläche (im Mittel 10 min)
— Abspülen mit klarem Wasser.

Es wurden an jeweils 10 Versuchsisolatoren 1, 5, 10, 15 und 20 Reinigungszyklen durchgeführt.

2. Rauhtiefen gereinigter Isolatoren

Durch eine *chemische Reinigung* mit verdünnter Salzsäure (und anschließendem Neutralisationsbad) werden die Rauhtiefen der Glasur praktisch nicht verändert. Diese Aussage, die an Versuchsisolatoren gewonnen wurde, wurde durch Messungen an Langstabisolatoren aus dem Netz bestätigt (Tafel 1). Selbst Isolatoren nach 20jähriger Betriebszeit und mehr und einem 2- bis 3jährigen Reinigungszyklus weisen die gleichen niedrigen Rauhigkeitswerte auf (Tafel 1).
Dadurch wird bestätigt, daß neue künstlich durch Reinigung gealterte Isolatoren die gleichen Rauhigkeitswerte wie langjährig im Netz betriebene Isolatoren besitzen.
Eine chemische Reinigung der Isolatoren mit dem Glasreinigungsmittel „Hyfax" (aggressives Mittel) führt, insbesondere bei häufiger Anwendung, sowohl zu einer starken Glasuraufrauhung als auch zu einer erheblichen Glasurabtragung, was bereits bei einer einmaligen Reinigung deutlich sichtbar wird (Tafel 2).
Aus den Ergebnissen kann geschlußfolgert werden, daß nach etwa 6 bis 10 Reinigungen die Glasur vollständig beseitigt ist.
Eine *mechanische Reinigung* von Hand — wie im Abschnitt 2 beschrieben — führt zu einer leichten Erhöhung der Rauhigkeiten (Tafel 1).
Führt eine chemische Reinigung zu keinem ausreichenden Reinigungseffekt, so ist mechanisch nachzureinigen (*kombinierte Reinigung*).
Bei dieser Reinigungsart sind gegenüber dem Neuzustand der Isolatoren geringe Rauhigkeitserhöhungen zu verzeichnen (Tafel 1). Gewaltsamere Reinigungsmethoden, wie z.B. das Abschießen von Eiszapfen mit dem Schrotgewehr, beschädigen die Glasur erheblich und sollten nicht zur Anwendung gelangen (Tafel 1).

3. Mechanische Festigkeit gereinigter Isolatoren

Es ist denkbar, daß eine Festigkeitsminderung der Isolatoren bei Anwendung unterschiedlicher Reinigungsmethoden durch Erniedrigung der Festigkeit der Keramikkörper, Verringerung der Festigkeit der Kittung und Verminderung der Festigkeit der Isolatoren infolge Aufstauchen und Lockerung der Armaturen beim Ein- und Ausbau eintritt.
Um die Einflüsse dieser Größen getrennt zu erfassen, wurden folgende Versuche durchgeführt:

— Versuchsisolatoren (Knüppelisolatoren ohne Armaturen)	mechanische Dreipunktprüfung (kein Einfluß durch Kittmedien)
— unbehandelte Langstabisolatoren LF 75/16/105:	Zugfestigkeitsprüfung (kein Einfluß durch Reinigungsmethoden)
— Probekörper aus Kittmaterialien:	Zugfestigkeitsprüfung (kein Einfluß der Keramik)

3.1. Einfluß der Glasuraufrauhung

Sowohl die mechanische und chemische als auch die kombinierte Reinigung üben praktisch keinen Einfluß auf die mechanische Festigkeit der Keramik aus (Tafeln 2 und 3). Dieses Ergebnis war aufgrund der Glasuruntersuchungen zu erwarten. Dagegen erniedrigt eine starke Glasurbeschädigung — beispielsweise hervorgerufen durch Beschuß mit Schrot — die mechanische Festigkeit erheblich (Tafel 3) [4].

3.2. Einfluß des Ein- und Ausbaues

Die bloße Entlastung der Isolatoren beim Aus- und Wiedereinbau hat praktisch keine Festigkeitsminderung zur Folge. Werden hingegen die Isolatoren auf die Armaturen hart aufgesetzt oder werden die Armaturen bei eventueller Lockerung verdreht, so kann bei mehrmaligem Ein- und Ausbau ($\leqq$ 10 mal) eine Festigkeitsminderung bis zu etwa 20 % eintreten (Tafel 4).
Die Erhöhung der Streuung der Bruchquote läßt erkennen, daß jetzt Größen auf das Bruchverhalten Einfluß nehmen, die vorher

Dr.-Ing. *Harri Streubel* ist Hauptabteilungsleiter im Kombinat VEB Keramische Werke Hermsdorf, Zentrum Forschung und Technologie. Dipl.-Ing. *Herbert Beier* ist Forschungsgruppenleiter im Institut für Energieversorgung Dresden.

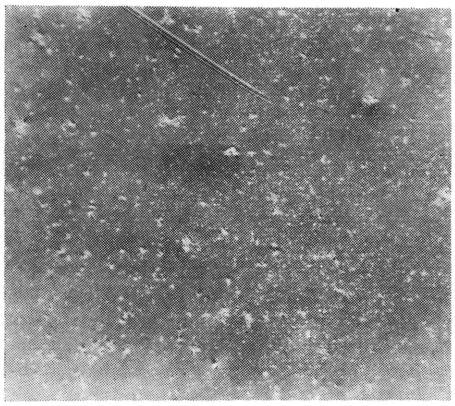


Bild 1. Oberfläche unbehandelter Isolatoren (Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme; Vergrößerung 250-fach)

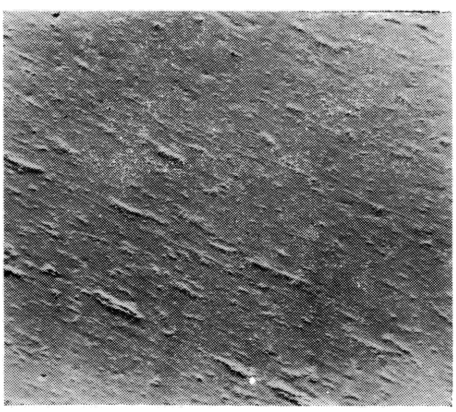


Bild 2. Oberfläche 10 mal mechanisch gereinigter Isolatoren (Aufnahme wie Bild 1)

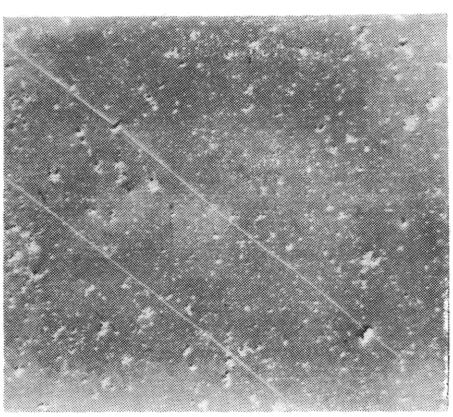
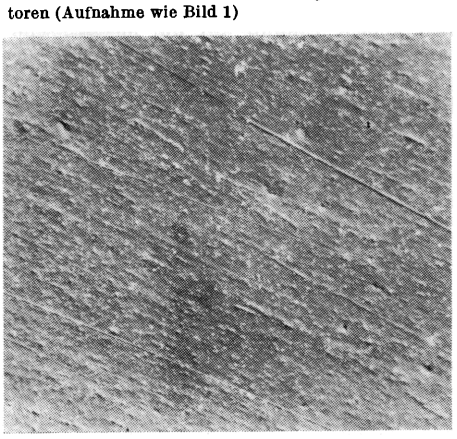


Bild 3. Oberfläche 20 mal chemisch gereinigter Isalatoren (Aufnahme wie Bild 1)

Bild 4. Oberfläche 20 mal kombiniert gereinigter Isolatoren (Aufnahme wie Bild 1)



Tafel 1. Rauhtiefen chemisch und mechanisch gereinigter Isolatoren

Isolator Typ	Nr.	Behandlung Art	Zeitdauer	Rauhtiefen Mittelwerte R_a	R_t	Mittelwerte der Behandlungsgruppen R_a	R_t	Beschädigungsgrad $\frac{R_a\ beh.}{R_a\ unbeh.}$	$\frac{R_t\ beh.}{R_t\ unbeh.}$	Bild
			min	µm	µm	µm	µm			
Versuchs-isolatoren (Knüppel-isolatoren einer Charge)	1	ohne	—	0,13	0,88	0,13	0,88	—	—	1
	2		1 × 10	0,14	0,87					
	3		5 × 10	0,24	0,90					
	4	mechanisch	10 × 10	0,14	1,53	0,2	1,3	1,5	1,5	2
	5		15 × 10	0,38	2,00					
	6		20 × 10	0,13	1,42					
	7	chemisch (mit verdünnter Salzsäure)	10 × 15	0,10	1,03	0,105	1,16	< 1	1,3	3
	8		20 × 15	0,11	1,28					
		chemisch mit:								
	9	Hyfax 5	1 × 10	0,13	1,30					
	10	Hyfax A	1 × 10	0,15	1,40					
	10a		1 × 60	0,19	2,20	0,18	1,8	1,4	2,05	—
	11	Hyfax B	1 × 10	0,18	1,65					
	11a		1 × 60	0,24	2,43					
	12	kombiniert (chemisch mit verdünnter Salzsäure plus mechan.)	20 × 15 und 20 × 10	0,16	0,85	0,16	0,85	1,2	< 1	4
		Beschluß:								
	13	1 Schuß (v_0 = 350 m/s)	—	1,80	25,0					
	14	5 Schuß (v_0 = 350 m/s)	—	3,40	55,5	2,60	40,3	20	46	5
	15	1 Schuß (v_0 = 290 m/s)	—	2,00	23,5					
	16	5 Schuß (v_0 = 290 m/s)	—	0,56	4,3	1,30	13,9	10	16	—
	1	ohne	—	0,30	1,85	0,30	1,85	2,3	2,1	
	2		5 × 10	1,40	14,90					
Versuchs-isolatoren	3	mechanisch	10 × 10	1,20	20,0	2,14	31,0	7,1	16,8	
	4		20 × 10	2,90	45,5					
(Langstab-isolatoren LF 75/16/105;	5	chemisch	5 × 15	0,62	3,40					
	6	(mit verdünnter	10 × 15	0,40	1,50	0,51	2,21	1,7	1,2	
	7	Salzsäure)	20 × 15	0,50	1,75					
neue Isolatoren einer Charge)			5 × 15 und	— 2,00	13,3					
	8	kombiniert (chemisch	5 × 10	—						
			10 × 15	—						
	9	mit verdünnter Salzsäure) plus mechan.	und 10 × 10	0,75 —	9,3	1,18	12,35	3,9	6,7	
			20 × 15	—						
	10		und 20 × 10	0,80 —	14,5					
Langstab-isolatoren LF 75/16/105	1	ohne	—	0,85	19,25					
				0,35	1,75	0,49	6,1	1,6	3,3	—
				0,35	2,00					
				0,40	4,75					
17 Jahre ohne Reinigung im Einsatz	2	ohne	—	0,30	4,25					
				0,35	2,00	0,33	3,5	1,1	1,9	—
				0,35	4,25					
Stützer FNS 110 nach 20jähriger Betriebszeit	1	mechanisch (Handreinigung aller 2 bis 3 Jahre)	etwa 8 × 15	0,26	1,2					
				0,18	1,3	0,22	1,25	< 1	< 1	
	2	mechanisch		0,26	1,6					
				0,28	1,5	0,27	1,55	< 1	< 1	7

R_a Mittenrauhwert (entspricht dem Integral der Rauhtiefen über der Meßstrecke)
R_t Maximaler Rauhtiefeneinzelwert der ausgemessenen Strecke

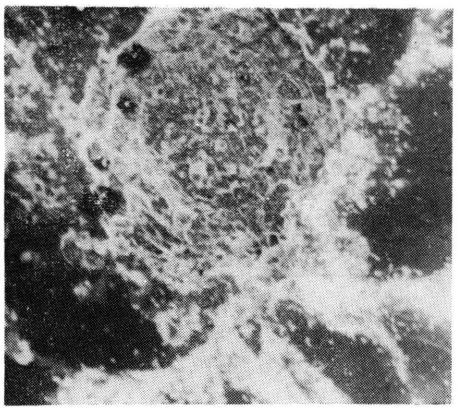


Bild 5. Oberfläche eines beschossenen Isolators (Aufnahme wie Bild 1)

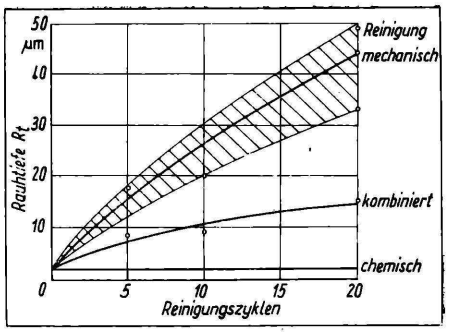


Bild 6. Rauhtiefen infolge Isolatorenreinigung

Bild 7. Oberfläche nach 20jähriger Betriebszeit und häufiger Reinigung (Aufnahme wie Bild 1)

nicht wirksam waren. Das findet seinen Ausdruck auch in dem Umstand, daß die meisten Brüche in Armaturennähe zu verzeichnen waren. Trotz dieser Tatsache liegt die Zugbruchkraft noch weit oberhalb der Mindestzugbruchkraft von 105 kN (Tafel 4).
Die Biegefestigkeit der Isolatoren beträgt etwa das Doppelte der Zugfestigkeit. Die Streuungen der Prüfungen 4 und 1 sind etwa gleich groß (Tafel 4), woraus geschlußfolgert werden kann, daß im wesentlichen der gleiche Bruchmechanismus wirkte. Ein Vergleich der prozentualen Streuungen an LF 75/16/105 und Versuchsisolatoren (Tafeln 3 und 4) zeigt, daß der Bruchmechanismus einheitlich ist und die für Versuchsisolatoren gemessenen Werte für die Absenkung der Festigkeit bei mechanischer Reinigung auf Langstabisolatoren übertragen werden können.

3.3. Verhalten der Kittmedien

Bei Anwendung des aggressiven Reinigungsmittels „Hyfax" wird die Festigkeit der Kittmedien (Portland- als auch Schwefelzement) — wie anhand speziell gefertigter Probekörper durch Zugprüfung nachgewiesen werden konnte (Tafel 5) — stark herabgesetzt.

4. Schlußfolgerungen

Aus den Untersuchungen ergeben sich für den praktischen Betrieb folgende Erkenntnisse:

— Die angewandten Reinigungsverfahren (chemisch in verdünnter Salzsäure, mechanisch mit einer Paste oder kombiniert) üben auf die mechanische Festigkeit der Isolatoren bei ordnungsgemäß durchgeführter Technologie nur einen geringen Einfluß aus. Die Isolatoren können mit hoher Wahrscheinlichkeit 40 Jahre und mehr sicher im Netz betrieben werden. Eine Aussonderung alter Isolatoren aus mechanischen Gründen ist nicht erforderlich. Bei der Wiederverwendung von Isolatoren ist lediglich darauf zu achten, daß keine sichtbaren Beschädigungen an Porzellan und Kittung vorhanden sind (keine Ausplatzungen oder Ausschmelzungen).

Tafel 2. Glasurabtragung durch Reinigungsmittel

Reinigungsmittel	Glasurstärken unbehandelt µm	10 min Einwirkzeit µm	60 min Einwirkzeit µm	Abtragung %
Hyfax 5	220	205	194	7—12
Hyfax A	220	186	153	7—24
Hyfax B	200	184	156	8—22

Tafel 3. Mechanische Festigkeit unterschiedlich gereinigter Versuchsisolatoren

Isolator	Behandlung Art	Zeit min	Mechanische Dreipunktbiegefestigkeit Mittelwert N/cm²	Standardabweichung N/cm²	Durchschnittliche Festigkeitsminderung %
Versuchsisolatoren (Knüppelisolatoren)	ohne	—	7.289	689	—
	mechanisch	1 × 10	7.359	439	< 0,1
		5 × 10	7.836	410	
		10 × 10	7.019	480	
		15 × 10	7.083	563	
		20 × 10	6.880	493	
	chemisch	10 × 15	7.378	542	0
		20 × 15	7.418	455	
	kombiniert (chemisch plus mechanisch	20 × 15 und 20 × 10	7.299	347	0
Versuchsisolatoren (Knüppelisolatoren)		1 Schuß 350 m/s	4.310		
		5 ··· 20 Schuß[1]) 350 m/s	4.280	390	41
		1 Schuß 290 m/s	5.110		
		5 ··· 20 Schuß[1]) 290 m/s	4.440	390	35

[1]) Der Einfluß der Beschußzahl konnte nicht exakt ermittelt werden, da die Zahl der Treffer auf eine Stelle gering blieb (Streuung der Kugeln)

Tafel 4. Mechanische Festigkeit von Langstabisolatoren LF 75/16/105 (neu)

Art der Prüfung	Bruchkraft F kN	σ_F kN	Bruchfestigkeit $\bar{\sigma}_{ZB}$ N/cm²	$\sigma_{\sigma_{ZB}}$ N/cm²	$\sigma_{\sigma_{ZB}}$ %	Absenkung der Zugbruchfestigkeit 2/1 %	3/1 %	Bemerkungen
1 Zugprüfung bis zum Bruch	150,4	10,36	3.496	300,2	8,59	—	—	Brüche verteilt
2 Zugprüfung nach vorheriger 10maliger Zugbelastung von 50 kN bei vorsichtigem Ein- und Ausbau	145,2	22,3	3.173	410	12,9	90,8	—	50 % der Brüche in Armaturennähe
3 Zugprüfung nach vorheriger 10maliger Zugbelastung von 50 kN, hartes Aufsetzen der Isolatoren auf beide Armaturen bei jedem Ein- und Ausbau	133,2	20,99	2.919	588,6	20,2	—	83,5	80 % der Brüche in Armaturennähe
4 Biegeprüfung bis zum Bruch	—	—	5.852	773	13,2	—	—	—

Tafel 5. Einfluß aggressiver Reinigungsmittel auf die Festigkeit der Kittung

Behandlung Art	Zeit min	Festigkeit der Kittung Portlandzement kp	Schwefelzement kp
ohne	—	213,7	188
chemisch mit Hyfax 5	10	174	—
	60	126	135

Fortsetzung auf Seite 128

Vergleich künstlicher und natürlicher Fremdschichten

K. Chrzan; Z. Pohl, Wroclaw (VR Polen), L. Berndt, KDT, Zittau

Der Zusammenhang zwischen der Überschlag- bzw. Stehspannung eines Isolators und dem Grad der Verschmutzung seiner Oberfläche wird häufig durch die sogenannte Fremdschicht-Kennlinie, d.h., durch die experimentell ermittelte Abhängigkeit der Überschlagspannung von den Kenngrößen „Schichtleitfähigkeit $\varkappa_s$" bzw. „äquivalente Salzablagerungsdichte ESDD" angegeben. Die Aufnahme dieser Kennlinien erfolgt dabei im Labor bei künstlicher und möglichst gleichmäßiger Verschmutzung der Isolatoroberfläche mit Hilfe standardisierter Prüfverfahren [1] [2]. Hinsichtlich der Fremdschichtzusammensetzung unterscheidet man prinzipiell zwischen dem Salznebel-Prüfverfahren und der sogenannten Haftschichtmethode. Um eine bestimmte Schichtviskosität zu erreichen, benutzt man bei dem letztgenannten Verfahren verschiedene Trägersubstanzen (z.B. Methylzellulose, Kaolin, Kieselgur, Aerosil). Die spezifische Leitfähigkeit der Schicht wird durch Zugabe von Salz (NaCl, $CaCl_2$) variiert. Natürliche Fremdschichten enthalten demgegenüber eine Vielzahl von Elektrolyten und schwer löslicher Sedimentbestandteile. Dabei kann sowohl die Art der vorkommenden Elektrolyte als auch das Verhältnis zwischen leicht und schwer löslichen Bestandteilen — je nach Charakter der die Verschmutzung bestimmenden Emittenten (Chemiebetriebe, metallurgische Betriebe, Kohlekraftwerke) — stark voneinander abweichen.
Für die Übertragbarkeit der im Labor gemessenen Fremdschicht-Kennlinien auf natürliche Bedingungen ist es deshalb von Bedeutung, künstliche und natürliche Fremdschichten hinsichtlich ihrer für die Höhe der Überschlagspannung maßgeblichen Eigenschaften zu vergleichen.

1. Einfluß der Fremdschichtzusammensetzung auf die Leitfähigkeit von Lösungen

Zwischen der Leitfähigkeit einer Kochsalz(NaCl)-Lösung und einer aus „natürlichem" Sedimentationsstaub hergestellten Lösung bestehen große Unterschiede (Bild 1). Für die NaCl-Lösung ergibt sich im untersuchten Bereich ein linearer Zusammenhang zwischen Leitfähigkeit und Konzentration. Demgegenüber läßt sich für die Lösung aus Sedimentationsstaub keine direkte Proportionalität feststellen.

Fortsetzung von Seite 127

— Die Reinigungsverfahren (Anstrich 1) führen selbst bei häufiger Anwendung zu keiner abnormen Zerstörung der Glasuroberfläche. Aus diesem Grunde können die Verfahren und ihre Technologien beibehalten werden.
— Aggressive chemische Reinigungsmittel (z.B. Glasreinigungsmittel) dürfen (auch einmalig) nicht angewandt werden.
Oberflächenzerstörende mechanische Reinigungsverfahren (z.B. Beschuß von Isolatoren zur Eisfreihaltung) sind zu untersagen.
— Vor Einführung neuer Reinigungsmittel ist ihre Wirkung auf Isolierkörper, Kittmedien und ggf. auf die Armaturen zu untersuchen.

Literatur

[1] Betreiben von Schaltanlagen — Fremdschichtprophylaxe an Freiluftisolierungen in Verschmutzungsgebieten. VE Kombinat Verbundnetz Energie, Ausgabe 1981
[2] Richtlinie für die Fremdschichtprophylaxe an Freiluftisolierungen in Verschmutzungsgebieten, Teil 3. Inhaltlich-methodische Regelung Nr. 1/82. VEB Ingenieurbetrieb der Energieversorgung
[3] *Dannheim, H.; Oel, H. J.:* Einfluß von Oberflächendefekten auf die mechanische Festigkeit bei keramischen Werkstoffen für Hochspannungsisolatoren. Bericht der Deutschen Keramischen Gesellschaft 56 (1979) Nr. 11/12, S. 323—327
[4] Einfluß chemischer und mechanischer Reinigungsverfahren auf die mechanische Festigkeit von Isolatoren. Technischer Bericht Nr. 1 vom 26. 11. 81. VEB Keramische Werke Hermsdorf, Höchstspannungsprüffeld

EA 5562

Während NaCl zu den sogenannten starken Elektrolyten gehört, die — zumindest im Bereich kleiner und mittlerer Konzentrationen — nahezu vollständig dissoziiert in der Lösung vorliegen, nimmt die Masse m der gelösten Bestandteile bei Sedimentationsstaub schon in diesem Konzentrationsbereich nicht proportional zur Staubkonzentration in der Lösung zu (Bild 2, Kurve 1). Die Masse der gelösten Bestandteile kann dabei durch Filtern der Lösung und anschließendes Verdampfen des Wassers ermittelt werden. Es zeigt sich, daß die Leitfähigkeit der Staublösung direkt proportional der Masse m der gelösten Bestandteile ist, d.h., es gilt (Bild 2, Kurve 2):

$$\varkappa = A\,m \qquad (1)$$

A Proportionalitätsfaktor

Aufgrund des nichtlinearen Zusammenhanges zwischen Leitfähigkeit und Staubgehalt stellt die äquivalente Salzablagerungsdichte ESDD keine geeignete Kenngröße zur Bewertung natürlicher Fremdschichten dar.

Das kann wie folgt erklärt werden:

Bei der Ermittlung von ESDD wird die Fremdschicht möglichst vollständig von der Isolatoroberfläche entfernt und liegt dann in einem relativ großen Wasservolumen gelöst vor [3]. Aus der gemessenen Leitfähigkeit dieser Lösung erhält man über den Zusammenhang $\varkappa = f(c)$ für die reine Kochsalzlösung eine äquivalente NaCl-Konzentration, die die gleiche Leitfähigkeit ergeben würde (Bild 1). Nimmt man beispielsweise an, daß die tatsächliche Staubkonzentration in der Lösung 5 g/l beträgt, so wird die gleiche Leitfähigkeit von etwa 1 mS · cm^{-1} auch durch eine NaCl-Konzentration von 0,7 g/l erreicht. Berechnet man daraus über das Wasservolumen und den Flächeninhalt der Isolatoroberfläche, von der diese Staubmenge entnommen wurde, die äquivalente Salzablagerungsdichte ESDD, so ist ihr Wert wesentlich kleiner als die tatsächliche Ablagerungsdichte des natürlichen Sedimentationsstaubes (jeweils ausgedrückt in mg · cm^{-2}).
Bei der Befeuchtung einer Fremdschicht auf der Oberfläche des Isolators stellt sich jedoch eine wesentlich größere Staubkonzentration ein, weil die Schicht nur eine begrenzte Wassermenge aufnehmen kann, ohne von der Isolatoroberfläche abzulaufen. Aufgrund des nichtlinearen Zusammenhanges zwischen Leitfähigkeit und Konzentration der Staublösung erhält man beispielsweise bei der zehnfachen Staubkonzentration, d.h. 50 g/l, nur eine spezifische Leitfähigkeit von 4,6 mS · cm^{-1}. Dagegen beträgt die Leitfähigkeit der NaCl-Lösung — ebenfalls bei der zehnfachen Konzentration (7 g/l) — fast 10 mS · cm^{-1}.
Bei gleichen Werten für ESDD würden sich also bei einem reinen NaCl-Belag und einer natürlichen Staubschicht jeweils unterschiedliche Schichtleitfähigkeiten auf der Isolatoroberfläche ergeben, wenn man die Schicht in beiden Fällen mit der gleichen Wassermenge befeuchtet.
Da aber die Überschlagspannung des Isolators vom längenbezogenen Widerstand der Fremdschicht und damit von der Schichtleitfähigkeit auf seiner Oberfläche bestimmt wird, sind für die betrachteten Fremdschichtzusammensetzungen trotz gleicher Werte für ESDD unterschiedliche Überschlagspannungen zu erwarten.

2. Temperaturabhängigkeit der Leitfähigkeit

Ein weiteres Problem beim Vergleich von Eigenschaften künstlicher und natürlicher Fremdschichten stellt die Temperaturabhängigkeit der Leitfähigkeit dar. Dieser Einflußfaktor ist insofern von praktischer Bedeutung, als die Messung der Schichtleitfähigkeit sowohl an künstlich als auch an natürlich verschmutzten Isolatoren ohne anliegende Prüf- bzw. Betriebsspannung gemessen wird. Damit entspricht die Temperatur der elektrolytisch leitfähigen Fremdschicht etwa der Umgebungstemperatur. Die bei anliegender Prüf- bzw. Betriebsspannung über die Isolatoroberfläche fließenden Ableitströme führen jedoch zu einer Erwärmung der Fremdschicht, die bis zum Erreichen des Siedepunktes führen kann. Es ist bekannt, daß dabei die Leitfähigkeit $\varkappa$ der Lösung nach folgender Beziehung zunimmt:

Dipl.-Ing. *Krystian Chrzan* ist Assistent, Doz. Dr.-Ing. habil. *Zbigniew Pohl* ist Dozent an der Technischen Hochschule Wroclaw, Institut für Grundlagen der Elektrotechnik und Elektrotechnologie. Dr.-Ing. *Lothar Berndt* ist wissenschaftlicher Assistent an der Ingenieurhochschule Zittau, Sektion Elektroenergieversorgung.

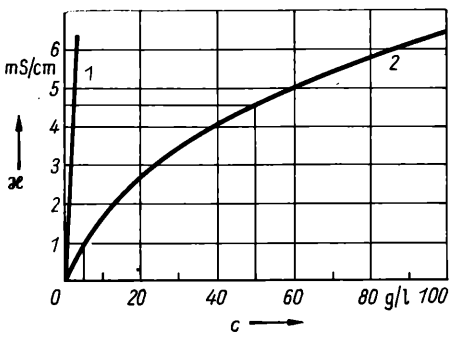


Bild 1. Abhängigkeit der Leitfähigkeit $\varkappa$ von der Konzentration c einer reinen NaCl-Lösung (Kurve *1*) und einer Lösung aus „natürlichem" Sedimentationsstaub (Kurve *2*)

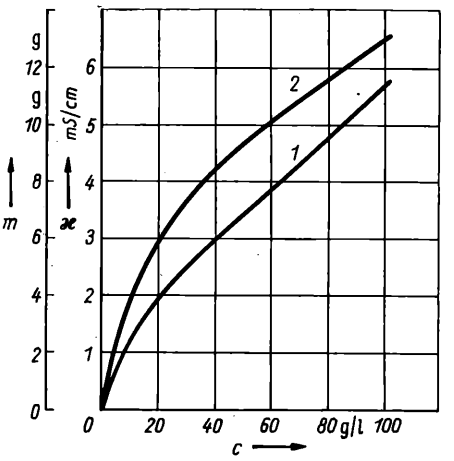


Bild 2. Abhängigkeit der Masse m der gelösten Bestandteile (Kurve *1*) und der Leitfähigkeit $\varkappa$ (Kurve *2*) von der Konzentration c einer Lösung aus „natürlichem" Sedimentationsstaub

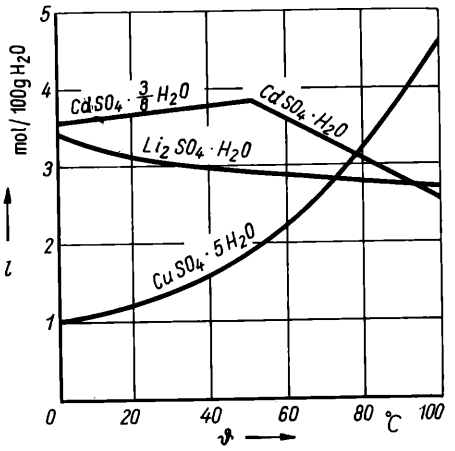


Bild 3. Abhängigkeit der Löslichkeit l von der Temperatur für verschiedene Sulfatlösungen

$$\varkappa(\vartheta) = \varkappa_0 [1 + \alpha (\vartheta - \vartheta_0)]. \quad (2)$$

$\varkappa_0$ Leitfähigkeit bei der Bezugstemperatur ϑ_0
α Temperaturkoeffizient der Leitfähigkeit
ϑ Temperatur der Fremdschichtlösung

Diese Gleichung gilt allerdings nur für Elektrolyte, deren Löslichkeit nahezu unabhängig von der Temperatur ist (z. B. für NaCl). In vielen Fällen, vor allem bei den Sedimentbestandteilen in natürlichen Fremdschichten, ändert sich mit der Temperatur auch die Löslichkeit im Wasser. Analog zu Gl. (2) läßt sich die Temperaturabhängigkeit der Löslichkeit l wie folgt beschreiben:

$$l(\vartheta) = l_0 [1 + \beta (\vartheta - \vartheta_0). \quad (3)$$

l_0 Löslichkeit bei der Bezugstemperatur ϑ_0
β Temperaturkoeffizient der Löslichkeit

Damit gilt für die Zunahme der Leitfähigkeit mit der Temperatur:

$$\varkappa(\vartheta) = \varkappa_0 [1 + (\alpha + \beta)(\vartheta - \vartheta_0) + \alpha \beta (\vartheta - \vartheta_0)^2]. \quad (4)$$

Der Koeffizient β kann dabei positive oder negative Werte aufweisen und auch $\beta = 0$ sein. Außerdem kann β für eine bestimmte Substanz in verschiedenen Temperaturbereichen unterschiedliche Werte annehmen (Bild 3) [4].
Für die reine NaCl-Lösung und für die untersuchte Lösung aus natürlichem Sedimentationsstaub erhält man folgende Koeffizienten α und β:

NaCl	$\alpha = 0{,}023\ \mathrm{K}^{-1}$	$\beta = 0$
Staub	$\alpha = 0{,}022\ \mathrm{K}^{-1}$	$\beta = 0{,}012\ \mathrm{K}^{-1}$.

Während die Leitfähigkeit der Kochsalzlösung linear mit der Temperatur ansteigt, ergibt sich bei der Staublösung für die Funktion $\varkappa = f(\vartheta)$ ein parabelförmiger Verlauf (Bild 4).
Wird nun die Schichtleitfähigkeit $\varkappa_s$ bei Umgebungstemperatur (z. B. $\vartheta_u = 20\,°\mathrm{C}$) gemessen, und die Überschlagspannung in Abhängigkeit dieser Schichtleitfähigkeit dargestellt, so zeigt sich folgender interessanter Effekt:
Bei gleicher Schichtleitfähigkeit $\varkappa_{s20}$ erhält man bei natürlicher Fremdschicht eine kleinere Überschlagspannung als bei künstlicher Schicht mit NaCl (Bild 5). Dieses Ergebnis kann man damit erklären, daß die Überschlagspannung nicht von der Schichtleitfähigkeit bei Umgebungstemperatur, sondern von ihrem Wert im Bereich des Siedepunktes (z. B. bei $\vartheta = 90\,°\mathrm{C}$) bestimmt wird. Da die Leitfähigkeit der natürlichen Fremdschicht aufgrund des positiven Wertes für β um einen größeren Faktor als die Leitfähigkeit der künstlichen Schicht ansteigt, ist die „wirksame" Schichtleitfähigkeit im Moment des Überschlages, d. h. bei etwa 90 °C, trotz gleicher Werte für $\varkappa_{s20}$ bei der natürlichen Schicht größer als bei der künstlichen. Diese Tatsache muß bei der Übertragung der im Labor mit künstlichen Schichten erzielten Ergebnisse auf natürlich verschmutzte Isolatoren berücksichtigt werden.
Darüber hinaus wurde bei den Untersuchungen zur Temperaturabhängigkeit der Leitfähigkeit von Staublösungen festgestellt, daß die Leitfähigkeit nach der Erwärmung auf 90 °C und darauffolgender Abkühlung auf Umgebungstemperatur nicht auf den Ausgangswert, sondern auf einen höheren Wert zurückgeht (Bild 6). Diese auch als Hysterese der Leitfähigkeit von Lösungen zu bezeichnende Erscheinung ist mit großer Wahrscheinlichkeit auf irreversible chemische Veränderungen in der Lösung, die bei höheren Temperaturen statt-

Bild 4. Abhängigkeit der Leitfähigkeit $\varkappa$ von der Temperatur ϑ einer reinen NaCl-Lösung (Kurve *1*) und einer Lösung aus „natürlichem" Sedimentationsstaub (Kurve *2*)

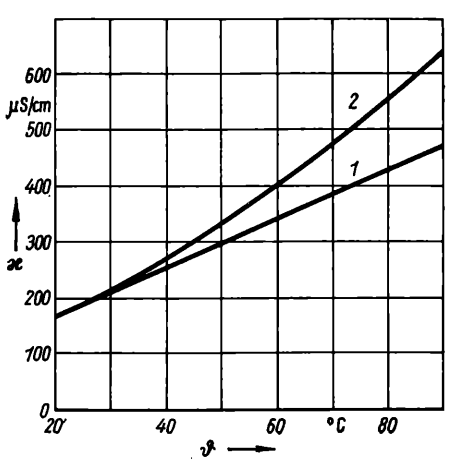


Bild 5. Spezifische Überschlagspannung $U_{\ddot{u}}/\ddot{u}_k$ in Abhängigkeit der Schichtleitfähigkeit $\varkappa_s$ — gemessen an einer ebenen Platte mit NaCl-Belag (Kurve *1*) und Belag aus „natürlichem" Sedimentationsstaub (Kurve *2*)

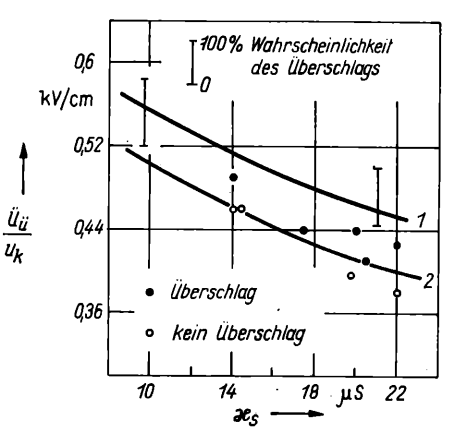
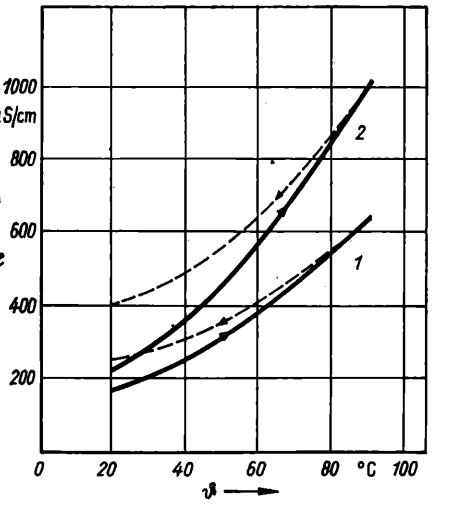


Bild 6. Hysterese der Leitfähigkeits-Temperatur-Charakteristik einer Lösung aus „natürlichem" Sedimentationsstaub (Kurve *1*) und einer Lösung aus FeS und Fe_2O_3 (Kurve *2*)



finden, zurückzuführen. Infolge dieser chemischen Reaktionen steigt die Anzahl der Ladungsträger in der Lösung an und bleibt bei der Abkühlung erhalten. So entstehen beispielsweise in der Lösung von Eisen(II)-sulfid FeS in Wasser bei höherer Temperatur Eisen-(III)-hydroxid $Fe(OH)_3$ und Schwefelwasserstoff H_2S, wobei Schwefelwasserstoff relativ leicht dissoziierbar ist.
Aufgrund der Hysterese der Leitfähigkeit kann es zu einer Erhöhung der Schichtleitfähigkeit auf der Isolatoroberfläche bei wiederholter Spannungsbeanspruchung kommen. Das wird durch orientierende Versuche an ebenen Glasplatten bestätigt, indem man die Schichtleitfähigkeit — jeweils bei Umgebungstemperatur — sowohl im „Neuzustand" als auch nach erfolgter Spannungsbeanspruchung mißt.

3. Zusammenfassung

Zwischen der Leitfähigkeit und dem Staubgehalt einer aus natürlichem Sedimentationsstaub hergestellten Lösung besteht — im Gegensatz zu einer reinen NaCl-Lösung — schon im Bereich kleiner Konzentrationen ein nichtlinearer Zusammenhang. Demzufolge ist die häufig als Verschmutzungskenngröße verwendete äquivalente Salzablagerungsdichte ESDD für die Bewertung natürlicher Fremdschichten — zumindest bei Industrieverschmutzung — nicht oder nur bedingt geeignet.
Die Leitfähigkeit der Staublösung steigt mit zunehmender Temperatur stärker an als bei der reinen NaCl-Lösung. Das ist dadurch bedingt, daß es neben der Erhöhung der Ladungsträgerbeweglichkeit (Koeffizient α) zusätzlich zu einem Anstieg der Ladungsträgeranzahl infolge der mit steigender Temperatur verbesserten Löslichkeit (Koeffizient β) kommt.
Darüber hinaus können bei höheren Temperaturen irreversible chemische Reaktionen ablaufen, die zur weiteren Zunahme der Ladungsträgerzahl und damit zu einer Hysterese im Leitfähigkeits-Temperatur-Verlauf der Staublösung führen. Diese Erscheinungen müssen bei der Übertragung der im Labor mit künstlichen Fremdschichten gemessenen Überschlagspannungen auf natürlich verschmutzte Isolatoren berücksichtigt werden, da sich trotz gleicher, bei Umgebungstemperatur gemessener Schichtleitfähigkeit für verschiedene Schichtzusammensetzungen unterschiedliche Überschlagspannungen ergeben können.

Literatur

[1] IEC 507. Künstliche Fremdschichtprüfungen an Hochspannungsisolatoren für Wechselspannungsanlagen (engl.). IEC-Publ. 507, 1. Ausg. 1975
[2] TGL 20618/06. Hochspannungsprüftechnik. Prüfung fremdschichtbehafteter Isolierungen. Ausg. 5.82
[3] *Holte, K. C.;* u.a.: Einsatz von Isolatoren in Verschmutzungsgebieten (engl.). IEEE Trans. PAS 98 (1979) 5, S. 1676—1690
[4] *Letowski, F.:* Grundlagen der Hydrometallurgie (poln.). Warschau: WNT-Verlag 1975

EA 5640

Wir empfehlen aus dem Angebot des VEB Verlag Technik

Statistik für Elektrotechniker

Eine Darstellung an Beispielen aus der Hochspannungstechnik

Von *W. Hauschild; W. Mosch.* Berlin: VEB Verlag Technik 1984. 1. Auflage. 268 Seiten, 185 Bilder, 56 Tafeln. Leinen 28,—Mark. Bestell-Nr. 553 208 6
Das Buch verknüpft die Methoden der mathematischen Statistik zur Planung und Auswertung von Experimenten mit den fachspezifischen Problemen der energetischen Elektrotechnik, insbesondere der Hochspannungstechnik. Die mathematischen Grundlagen werden ohne Ableitungen und Beweise in logischer Folge dargestellt und an zahlreichen Beispielen erläutert. Die Redaktion

Laboratoriums- und Freiluftversuche mit Kunststoffisolatoren

G. Laßwitz, KDT, Ilmenau; E. Kliemank, KDT, Vetschau

Mitteilung aus der Sektion Elektrotechnik der Technischen Hochschule Ilmenau

1. Einführung

Kunststoffisolatoren bestehen aus einem Stab aus glasfaserverstärktem Kunstharz und einer Umhüllung aus Kunststoff, die den Witterungseinflüssen ausgesetzt ist sowie die den Glasfaserstab fassenden Armaturen.
Die mechanischen Beanspruchungen werden über die Armaturen auf den Glasfaserstab übertragen, der weiterhin den thermischen und elektrischen Beanspruchungen widerstehen muß. Die Isolierhülle hat die Aufgabe, den Glasfaserstab vor Witterungseinflüssen zu schützen. Entsprechende Anforderungen ergeben sich an die Materialien, aus denen die Isolierhülle besteht. Zusätzliche Anforderungen bestehen an die Grenzfläche Glasfaserstab-Isolierhülle, die unter allen Bedingungen die Isolieraufgabe erfüllen muß.
Beim Einsatz der Kunststoffisolatoren ist eine der entscheidenden Beanspruchungen die elektrolytisch leitfähige Fremdschicht. Das Fremdschichtverhalten von Kunststoffisolatoren kann nach den bisher bekannten Prüfverfahren ermittelt werden, wobei im allgemeinen bessere Ergebnisse als bei Porzellanisolatoren ähnlicher Abmessungen und Bauformen erzielt werden. Eine der Ursachen dafür liegt in der Wasserabweisung der Kunststoffoberflächen. Entscheidend für den Einsatz von Kunststoffisolatoren ist jedoch deren Alterungsverhalten unter thermischen und elektrischen Beanspruchungen, Witterungseinflüssen sowie den Kriechstrombeanspruchungen bei Fremdschichten. Dabei können irreversible Schädigungen z.B. in Form von Kriechspuren oder Erosionen entstehen, die das Isoliervermögen stark reduzieren.
An verschiedenen im Labor hergestellten Kunststoffisolatoren werden deshalb sowohl die Kurzzeiteigenschaften als auch das Dauerverhalten unter natürlichen Fremdschichtbedingungen ermittelt. Nachfolgend werden einige dieser Ergebnisse zusammenfassend dargestellt.

2. Prüflinge

Für diese Untersuchungen wurden Kunststoffisolatoren für 20 kV bis 220 kV Betriebsspannung nach dem gleichen Prinzip gefertigt [1]. In der nachfolgenden Tafel 1 sind einige wichtige Daten der ausgewählten Prüflinge zusammengestellt.
Für die Isolierhülle wurde sowohl Silikonkautschuk als auch ein EPDM-Kautschuk verwendet. Der Glasfaserstab besteht aus polyestergebundenen E-Glas-Roving. Die Armaturen, aus einer Leichtmetall-Legierung bestehend, werden auf den Glasfaserstab aufgeklebt und zusätzlich elektromagnetisch verformt. Bild 1 zeigt einen Kunststoff-Langstabisolator der geprüften Bauart.
An diesen Prüflingen wurden die Überschlag- und die Stehwechselspannung im trockenen und beregneten Zustand sowie die entsprechenden Blitz- und Schaltspannungen ermittelt. Zudem wurden an ausgewählten Isolatoren die Fremdschichtkennlinien aufgenommen. Diese Untersuchungen erfolgten im Hochspannungsversuchsfeld des VEB Kombinat Keramische Werke Hermsdorf.
Im Freiluftversuchsstand des OIK Vetschau wurden die Freiluftuntersuchungen zur Ermittlung des Dauerverhaltens unter natürlichen Fremdschichtbedingungen durchgeführt. Dazu wurden in bestimmten Abständen die partiellen Fremdschichtleitfähigkeiten und das Überschlagverhalten in der Nebelkammer sowie bei Vereisung gemessen. Aus der Vielzahl der Messungen sollen hier nur einige wesentliche aufgeführt werden.

Dr.-Ing. *Günter Laßwitz* ist Wissenschaftlicher Assistent an der TH Ilmenau, Sektion Elektrotechnik, Wissenschaftsbereich Elektrische Isolier- und Hochspannungstechnik. Dipl.-Ing. *Eberhardt Kliemank* ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im ORGREB-Institut für Kraftwerke Vetschau.

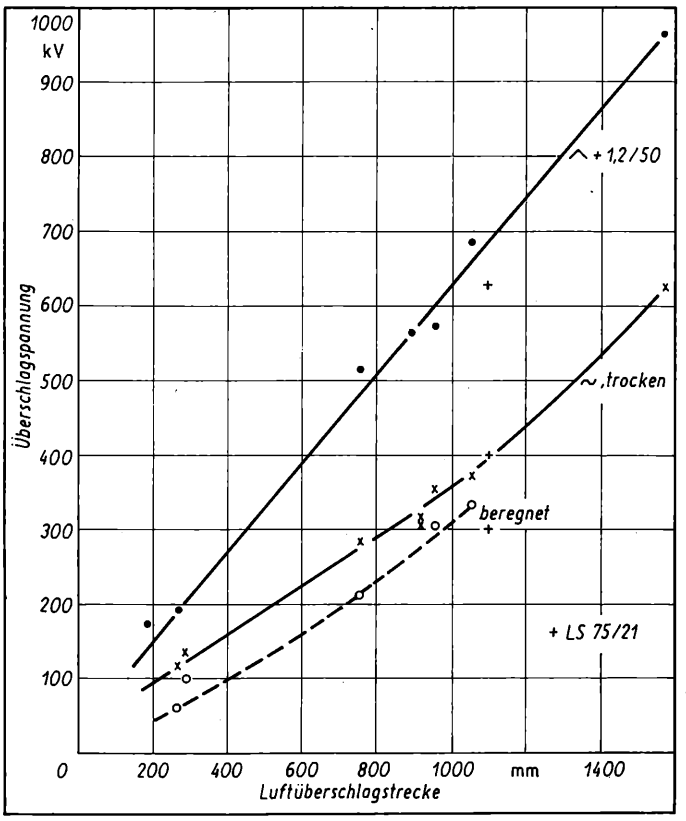


Bild 2. Überschlagblitzspannung sowie Überschlagwechselspannung trocken und beregnet von Kunststoffisolatoren der vorgestellten Bauart in Abhängigkeit von der Luftüberschlagstrecke

Tafel 1. Charakteristische Abmessungen der untersuchten Isolatoren

Isolator Nr.	1	2	3	4	5	6	7	LS 75/21
Baulänge (mm)	450	470	1025	1140	1220	1320	1890	1240
Luftüberschlagstrecke (mm)	270	290	760	920	960	1060	1580	1100
Kriechweglänge (mm)	540	700	2080	2900	3200	3570	5630	3200
Strunk-Ø (mm)	36	30	36	30	30	30	30	75
Schirm-Ø (mm)	166	166	166	166	166	166	166	195
Schirmabstand (mm)	60	50	60	50	50	50	50	
Schirmzahl	3	4	12	17	19	21	33	21

3. Ergebnisse der Untersuchungen

3.1. Überschlagverhalten der Isolatoren

Die Ermittlung der Überschlag- und Stehspannungen erfolgte entsprechend TGL 20445/02. Einen Überblick über einige Ergebnisse gibt Tafel 2.

Zum Vergleich sind die Daten des Keramiklangstabes LS 75/21 eingetragen. Die entsprechenden Stehspannungen liegen zwischen 10 kV und 30 kV niedriger als die Überschlagspannungen.

Das Überschlagverhalten der geprüften Isolatoren in Abhängigkeit von der Luftüberschlagstrecke geht aus Bild 2 hervor.

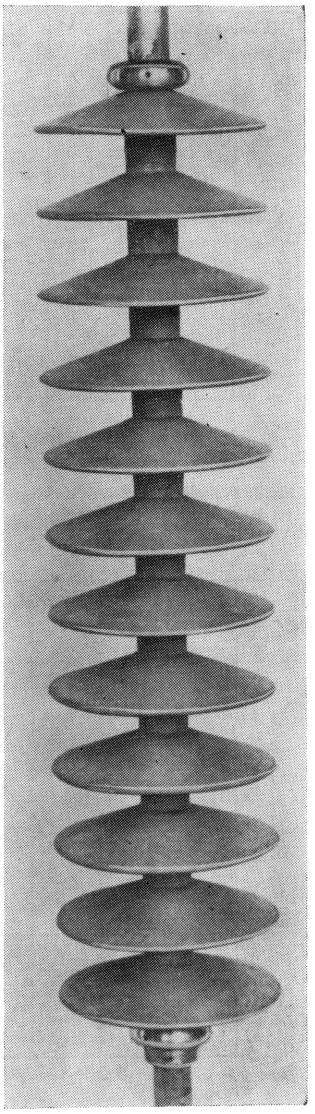
Daraus wird deutlich, daß die technischen Forderungen von den geprüften Kunststoffisolatoren für die jeweilige Spannungsebene erfüllt werden. Während dieser Prüfungen traten keine Veränderungen an der Isolatoroberfläche auf. Auch die Überschlaglichtbögen hinterließen keine Spuren, obwohl bei allen Prüfungen ohne Lichtbogenschutzarmaturen gearbeitet wurde. Auch die Grenzfläche Glasfaserstab-Isolierhülle hielt allen Beanspruchungen stand und zeigte keinerlei Veränderungen. Entscheidender jedoch als die kurzzeitigen Beanspruchungen sind die Dauerbeanspruchungen unter Fremdschichteinfluß.

3.2. Verhalten bei künstlicher Verschmutzung

Die Fremdschichtprüfung mit künstlicher Verschmutzung erfolgte mit der 330-kV-Leistungsprüfanlage des Hochspannungsversuchsfeldes in Hermsdorf. Als Fremdschicht wurde Zellulose mit Kochsalzzusatz im Tauchverfahren aufgebracht.

Diese Prüfungen sollten Aufschluß geben, für welche Fremdschichtklassen die Isolatoren prinzipiell einsetzbar sind. Die Frage der Standzeit in der entsprechenden Fremdschichtklasse kann nur über

Bild 1. Kunststoff-Langstabisolator KLS 36/12 ▶



die Ermittlung des Dauerverhaltens beantwortet werden. Die Ergebnisse der Fremdschichtprüfung mit künstlicher Verschmutzung sind im Bild 3 dargestellt. Auch während dieser Fremdschichtprüfungen traten keine Veränderungen an den Isolatoroberflächen auf. Lediglich beim KLS 36/3 gab es durch die längeren Lichtbogenzeiten vor Abschalten der Anlage stärkere Einwirkungen auf die Oberfläche. Wie weitere Untersuchungen dazu ergaben, beeinträchtigten diese Veränderungen das Isoliervermögen nicht.

In Anlehnung an IEC 466 wurde ein Kaltnebel-Test über 400 Stunden mit einem Isolator KLS 36/12 bei einer Prüfspannung von $U_p = 100$ kV durchgeführt. Bei einer Wassermenge von 0,3 l $m^{-3}h^{-1}$ mit einer spezifischen Leitfähigkeit von 150 μ Scm^{-1} ergaben die Ableitstrommessungen Größen von 100 μA bis 350 μA, wobei sich nach etwa 200 Stunden ein Wert von ca. 200 μA einstellte. Zu keiner Zeit der Prüfung trat eine Überstromauslösung ein. Diese Untersuchungen wurden im Bereich Hochspannungstechnik der IHS Zittau durchgeführt.

Bei der genannten kombinierten Beanspruchung traten vorzugsweise am Strunk flächenhafte Vorentladungen auf, die nach längerer Beanspruchung sogar einzelne Schirme überbrückten. Infolge dieser Entladungen entstanden an den Strunkabschnitten und den

Tafel 2. Charakteristische Ergebnisse der elektrischen Untersuchungen

Isolator Nr.	Überschlagwechselspannung (kV) trocken	beregnet	50 %-Überschlagblitzspannungen pos. Polarität (kV)	50 %-Überschlagschaltspannung pos. Polarität (kV)
1	115	58	190	180
2	136	98	—	—
3	284	208	510	410
4	312	—	560	—
5	352	302	570	—
6	370	330	680	540
7	622	—	960	935 (schwingend)
LS 75/21	400	300	625	—

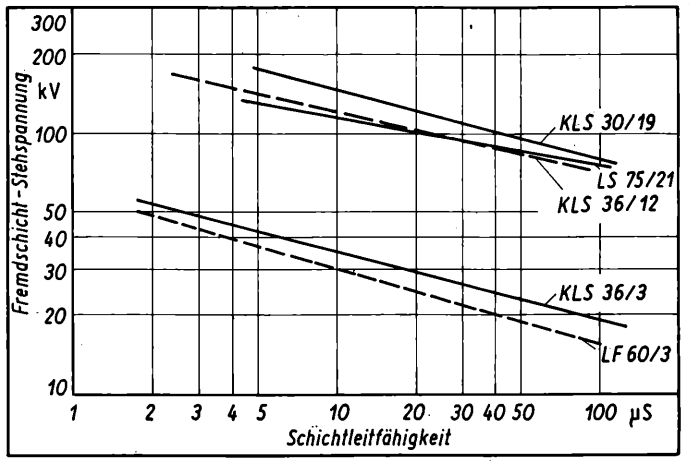


Bild 3. Fremdschichtkennlinien verschiedener Kunststoffisolatoren in Abhängigkeit von der Schichtleitfähigkeit

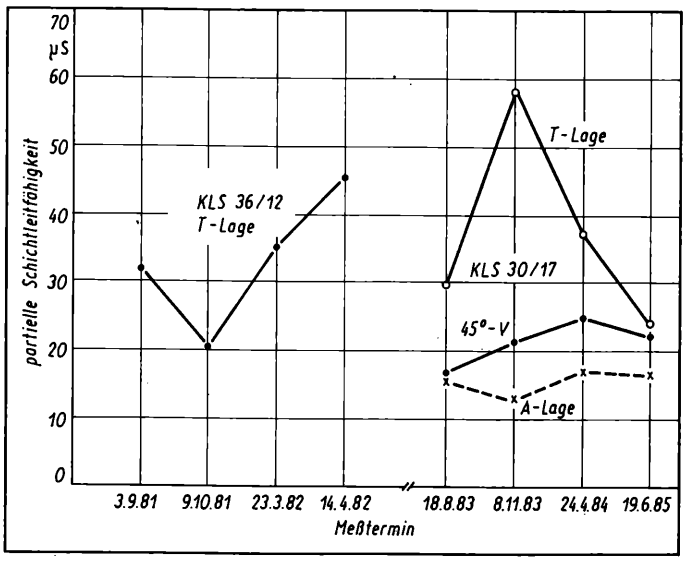


Bild 4. Gemessene Schichtleitfähigkeiten von freiluftbewitterten Kunststoffisolatoren zu ausgewählten Meßzeitpunkten

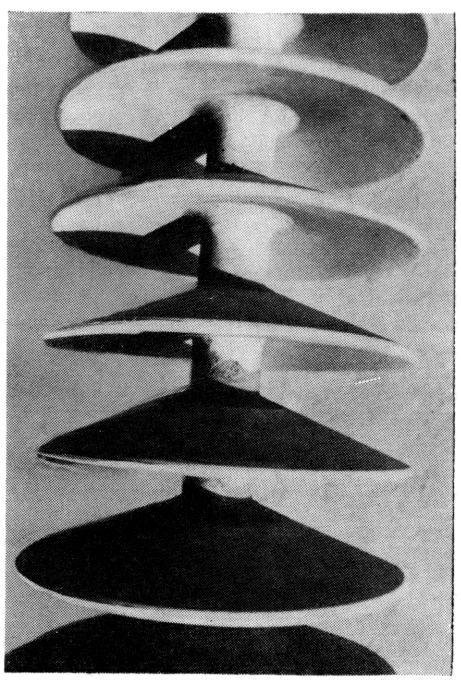


Bild 5
Kunststoffisolator KLS 30/17 nach fast zweijähriger Bewitterung

Schirmwurzeln flächenhafte Erosionen. Die Überschlagspannung unter o.g. Bedingungen nach der Dauerbelastung lag mit $U_{\ddot{U}F}$ = 207 kV genau so hoch wie die Regenüberschlagspannung nach Punkt 3.1.

3.3. Verhalten bei natürlichen Fremdschichten

Entscheidender für die Beurteilung des Betriebsverhaltens und der Standzeit von Kunststoffisolatoren ist die Beanspruchung mit natürlichen Fremdschichten. Dazu wurden Kunststoffisolatoren im FVS Boxberg des OIK in Trag- und Abspannlage sowie in 45°-V-Anordnung installiert. Im Bild 4 sind die partiellen Schichtleitfähigkeiten zu ausgewählten Meßzeitpunkten dargestellt. Die Messungen erfolgten unter Verwendung der Saugpapiermeßsonde mit dem Leitfähigkeitsmeßgerät LM 301 [2].
An den Isolatoren traten während des bisherigen Versuchszeitraumes von etwa 4 Jahren keine Fremdschichtüberschläge infolge Verschmutzung auf. Es wurden auch keine sichtbaren Vorentladungen beobachtet. Naturgemäß wurden die höchsten Schichtleitfähigkeiten in Traglage festgestellt. Aus den optischen Untersuchungen geht hervor, daß an keinem der Isolatoren Erosionsspuren festzustellen sind (Bild 5).
Die Fremdschichten lassen sich mit Wasser sehr leicht entfernen. Stärkere Verschmutzungen wurden z.B. durch das Saugpapier der Meßsonde nach dem Messen mit abgezogen. Auch die Ergebnisse der Messungen in Abspann- und V-Lage lassen auf einen guten Selbstreinigungseffekt schließen. Dies bestätigt sich auch an den Ergebnissen vom 19. 6. 1985, die nach einer längeren Regenperiode gemessen wurden und deutlich niedrigere Werte lieferten. Ähnlich verhält es sich bei Messungen, die nach den Nebelkammerversuchen durchgeführt wurden und eine deutlich niedrigere Schichtleitfähigkeit ergaben als vor diesen Versuchen. Eine der Hauptursachen dafür ist neben der äußeren Gestaltung des Isolators (siehe Tafel 1) der wasserabweisende Charakter des Schirmmaterials. der auch nach dieser Einsatzzeit erhalten geblieben ist. Dies werden in der Nebelkammer deutlich, wo sich der Nebel nicht als Wasserfilm, sondern in Tröpfchenform niederschlägt, die dann bei ausreichender Größe ablaufen. Die Spannungsbeanspruchung im Nebelkammerversuch ist mit $U_p = 115\ \text{kV}/\sqrt{3}$ konstant. Deshalb werden entsprechend der wirksamen Schichtleitfähigkeit und der Fremdschichtkennlinie der Isolatoren die wirksame Schirmzahl und der Kriechweg verkürzt. Dabei wurden unterschiedlich starke Vorentladungen vor allem am Strunk beobachtet. Bei Ableitströmen bis etwa 100 mA waren die Vorentladungen gering und nur von kurzer Dauer (etwa 3 bis 5 s). Wurden größere Verkürzungen der Kriechüberschlagstrecke realisiert, traten starke Vorentladungen verbunden mit höheren Ableitströmen (bis 400 mA) auf, wodurch am KLS 36/12 Überschläge registriert wurden.

4. Zusammenfassung

Die an Kunststofflangstabisolatoren ermittelten Überschlag- und Stehspannungen entsprechen den technischen Forderungen der jeweiligen Spannungsebene und Isolationsklasse. Auch die Fremdschichtstehspannungen genügen den Bedingungen der Fremdschichtklasse 2. Entscheidender jedoch als diese Kurzzeitversuche ist das Betriebsverhalten unter natürlichen Fremdschichtbedingungen. Die bisherigen Versuche zeigen, daß die Kunststoffisolatoren den Beanspruchungen standhalten und ihr Isoliervermögen in diesem Zeitraum erhalten geblieben ist. Dazu trägt in entscheidendem Maße sowohl ihr gutes Selbstreinigungsverhalten als auch der hydrophobe Charakter des Schirmmaterials bei.

Literatur

[1] *Kahle, M.:* DD WP 204 840
[2] *Bärsch, R.; Pilling, J.:* Zur Messung der Schichtleitfähigkeit natürlich verschmutzter Isolatoren. ELEKTRIE, Berlin 36 (1982) 1, S. 37—39

EA 5660

Störlichtbögen in Mittelspannungs-Schaltzellen und deren Einfluß auf den Kurzschlußstromverlauf

D. Welich, KDT; H. Böhme, KDT; Dresden

Mitteilung aus dem VEB „Otto Buchwitz" Starkstrom-Anlagenbau Dresden und der Sektion Elektrotechnik der Technischen Universität Dresden

1. Einleitung

Derzeit fordern die Standards [1] bis [5], den Lichtbogen bei der Prüfung zum Nachweis des Lichtbogenschutzes von gekapselten, luftisolierten Mittelspannungs-Schaltzellen (MSS) 3polig und zeitgleich im Maximum eines Stromes mit einem Zünddraht einzuleiten.

In der Praxis ist es jedoch sehr wahrscheinlich, daß sich ein 3poliger Kurzschluß-Lichtbogen (3 (p) KS-LB) aus einem frei brennenden 1poligen Erdschluß-Lichtbogen (1 (p) ES-LB) zeitlich verzögert über den 2poligen Kurzschluß-Lichtbogen (2 (p) KS-LB) entwickelt.

Durch die ungleichzeitige Lichtbogenausbildung und die endliche Lichtbogenresistanz weicht der Lichtbogenstromverlauf von dem eines gleichzeitig eingeleiteten 3poligen Kurzschlusses ohne Fehlerresistanz (galvanischer Kurzschluß) ab. Ziel dieser Untersuchungen war es, diese Einflüsse auf den Lichtbogenkurzschlußstrom $I^*_{KB\,(3)}$[1]), insbesondere auf den Lichtbogenstoßstrom $I^*_{SB\,(3)}$[2]) zu untersuchen, den Stromverlauf mit dem für eine zeitgleiche Kurzschlußeinleitung zu vergleichen und Schlußfolgerungen für Lichtbogenprüfungen abzuleiten. Dies ist beispielsweise notwendig, um die dynamische Druckfestigkeit bei Störlichtbögen in MSS beurteilen zu können.

2. Störlichtbögen im Dreiphasensystem

2.1. Zeitliche Lichtbogenausbildung und Einfluß auf den Lichtbogenkurzschlußstrom

Die Ausbildung von 1 (p) ES-LB bis zum 3 (p) KS-LB wurde an einer Schienenanordnung, 3 Leiter waagerecht in einer Ebene übereinander, in einem 12-kV-Dreiphasennetz ($R/X = 0{,}05$) untersucht. Der Erdschlußstrom betrug $I_E = 35$ A, der Lichtbogenkurzschlußstrom $I''_{KB\,(3)} = I_{KB\,(3)} = 23$ kA.

Die Lichtbogenausbildung verlief in 3 Etappen. Sie sind gekennzeichnet durch die 1polige, 2polige und 3polige Lichtbogenausbildung und durch die Zeitpunkte t_2 und t_3 bestimmt (Bild 1).

Etappe 1: Einpoliger Erdschlußlichtbogen;

Zeitdauer Δt_2

Der stabil frei brennende 1 (p) ES-LB leitete nach einer normalverteilten Verzögerungszeit Δt_2 ($\overline{\Delta t_2} = 548$ ms), den 2 (p) KS-LB ein (Bild 2). 94% aller Durchschläge zum 2 (p) KS-LB traten im Spannungsanstieg zwischen 25° und 90° bzw. 205° und 270° der am Nachbarleiter (S) anliegenden verketteten Wechselspannung auf. Der Übergang ist damit „spannungsbedingt". Der auf die Spannungshalbwelle bezogene Winkel wird als Durchschlag-Zündwinkel ψ_{u2} bezeichnet. 75% der Durchschläge erfolgten, wenn der Nachbarleiter (S) negatives Potential besaß.

Etappe 2: Zweipoliger Kurzschlußlichtbogen;

Zeitdauer $\Delta t_3 = t_3 - t_2$

Der Durchschlag-Zündwinkel ψ_{u2} (Etappe 1) bestimmt den Stromverlauf des 2 (p) KS-LB. Je kleiner ψ_{u2} ist, desto größer ist die Gleichstromverlagerung und damit die Asymmetrie des 2 (p) KS-LB. 75% der Stoßfaktoren erreichten nur 80% des möglichen Wertes.

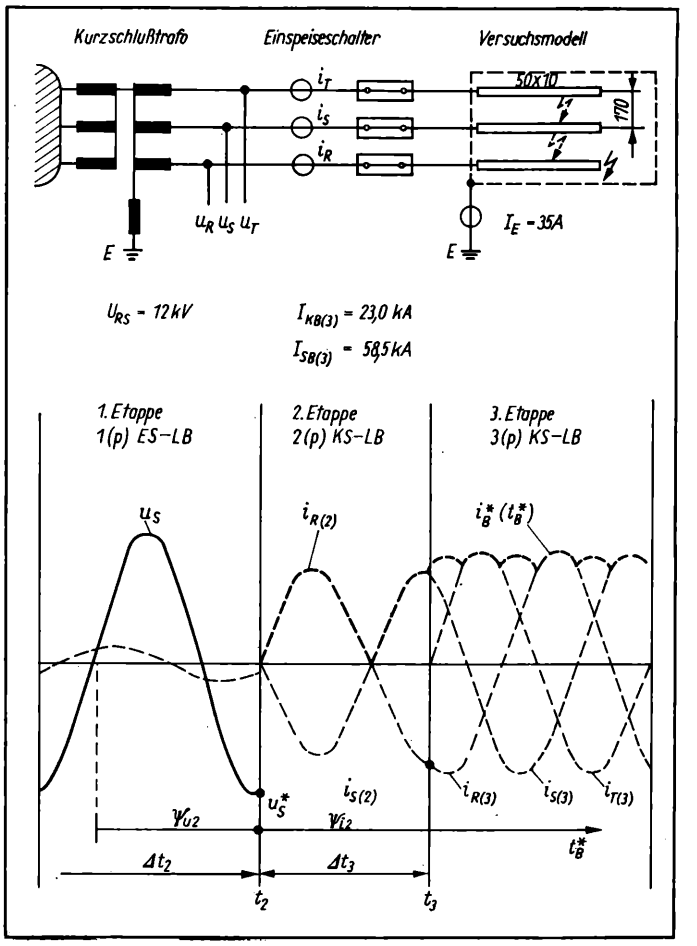
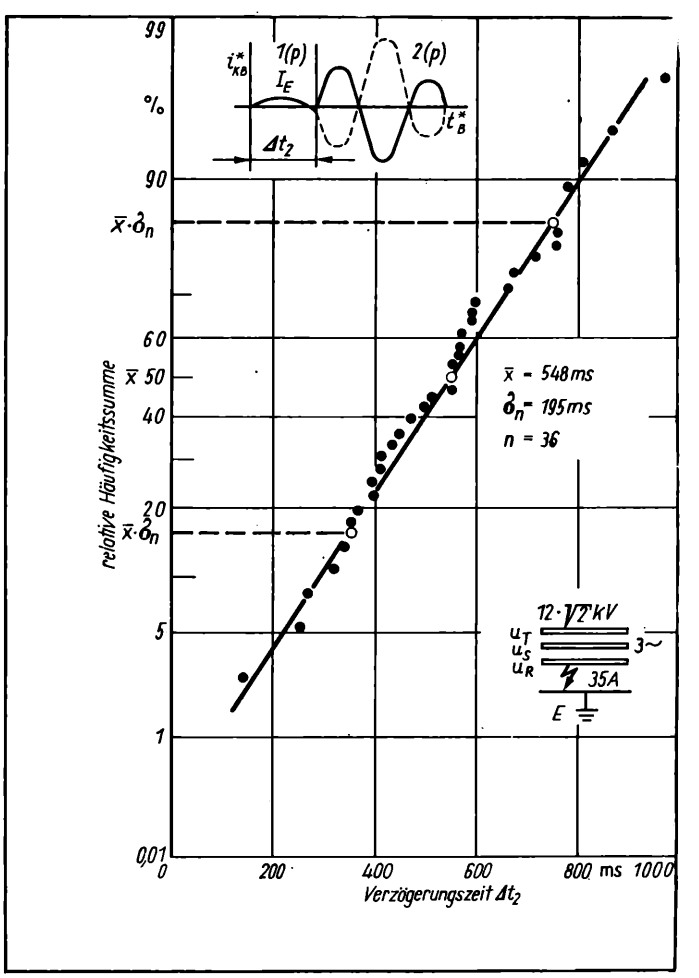


Bild 1. Versuchsanordnung. Parameter der Lichtbogenentwicklung

Bild 2. Verteilungsfunktion der Verzögerungszeit Δt_2 vom 1poligen Erdschluß-Lichtbogen (1 (p) ES-LB) zum 2poligen Kurzschluß-Lichtbogen (2 (p) KS-LB)



Dr.-Ing. *Dieter Welich* ist Laborleitingenieur im VEB „Otto Buchwitz" Starkstrom-Anlagenbau Dresden. Prof. Dr. sc. techn. *Helmut Böhme* ist Inhaber des Lehrstuhles Hochspannungsgeräte an der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden.

Die Untersuchungen wurden im Rahmen der Forschungskooperations-Gemeinschaft ELTRA durchgeführt.

[1]) Index* kennzeichnet eine ungleichzeitige Lichtbogenentwicklung.

[2]) Stoßstrom ist der maximale Strom in einem Leiter innerhalb eines Kurzschlusses.

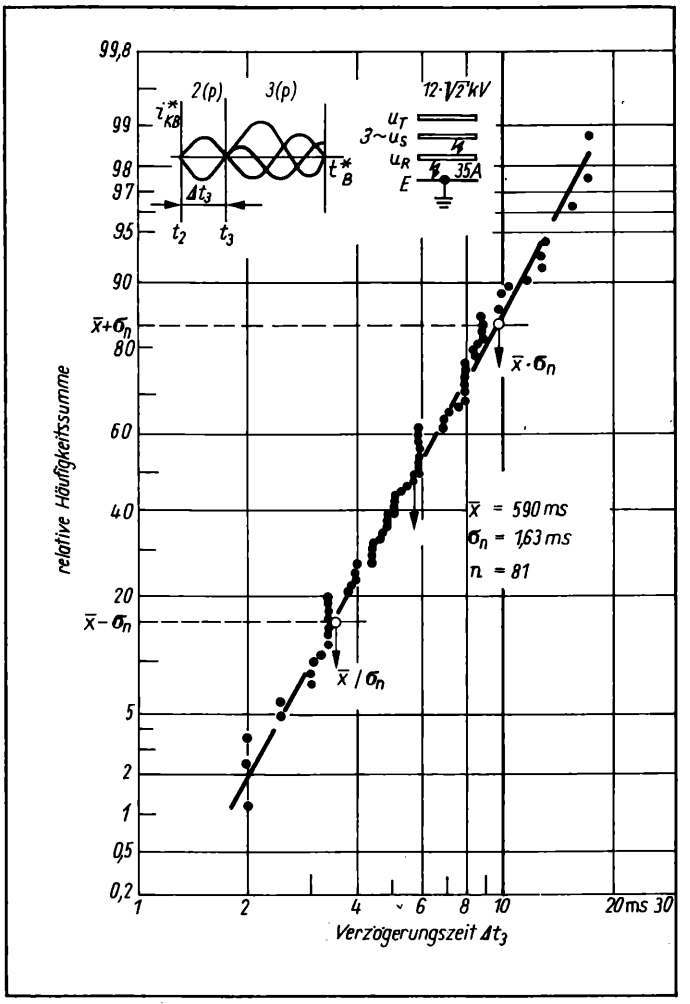


Bild 3. Verteilungsfunktion der Verzögerungszeit Δt_3 vom 2poligen Kurzschluß-Lichtbogen (2 (p) KS-LB) zum 3poligen Kurzschluß-Lichtbogen (3 (p) KS-LB) Mittelwert der Verzögerungszeit $\overline{\Delta t_3}$ = 5,90 ms

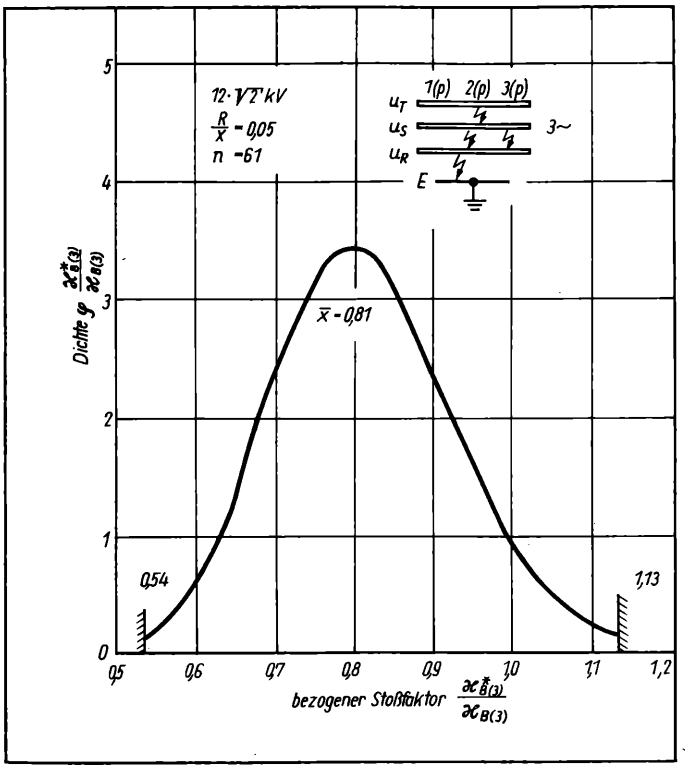


Bild 4. Dichtefunktion der Stoßfaktoren bei Lichtbogenentwicklung vom 1poligen Erdschluß-Lichtbogen (1 (p) ES-LB) zum 3poligen Kurzschluß-Lichtbogen (3 (p) KS-LB)

Der maximale Stoßfaktor wurde gar nicht erreicht. Das zeigten auch frühere Untersuchungen [6]. Während bei galvanischen, 2poligen Einschaltungen mit gleichverteilten Einschaltwinkeln große Stoßfaktoren häufig waren, ergab sich bei der Lichtbogenausbildung für kleine Stoßfaktoren ein Maximum in der Häufigkeitsverteilung. Die Weiterentwicklung des 2 (p) KS-LB bestimmten hohe Bewegungsgeschwindigkeiten der Plasmastrahlen und der verbindenden Lichtbogenfahne. Nach der Verzögerungszeit Δt_3 (Bild 3) erfolgte ein „lichtbogenbedingter" Übergang zum 3 (p) KS-LB. Das geschah unabhängig von der Spannungsamplitude am noch fehlerfreien Leiter (T). Sogar beim Spannungsnulldurchgang ($U_T = 0$ kV) begannen 3 (p) KS-LB.

Etappe 3: Dreipoliger Kurzschlußlichtbogen;

Zeitdauer größer t_3

Bestimmt vom Zündwinkel ψ_{u2} zum 2 (p) KS-LB und der Verzögerungszeit Δt_3 zum 3 (p) KS-LB, ergab sich für die Stoßfaktoren

$$\varkappa^*_{B(3)} = \frac{I^*_{SB(3)}}{\sqrt{2}\, I_{KB(3)}}$$

eine zwischen 0,54 (symmetrischer Kurzschlußstrom) und 1,13 (höchstmöglicher Wert) gestutzten logarithmische Normalverteilung (Bild 4). Die gemessenen Stoßfaktoren schwanken zwischen 0,58 und 1,08 des Stoßfaktors $\varkappa_{B(3)} = 1{,}85$; ($R/X = 0{,}05$) einer zeitgleichen Lichtbogeneinleitung im Maximum eines (stationären) Stromes ([7] [8]). Während bei einer gleichzeitigen Lichtbogeneinleitung der Stoßstrom $I_{SB(3)}$ immer bei 10 ms auftritt, werden bei ungleichzeitigen Lichtbogenentwicklung große Stoßströme ($\varkappa^*_{B(3)} = 1{,}5 \cdots 1{,}85$) zwar häufig bei etwa 10 ms erreicht, kleinere Stoßströme ($\varkappa^*_{B(3)} = 1{,}1 \cdots 1{,}5$) treten aber verteilt bis 30 ms auf (Bild 5).

2.2. Einfluß der Lichtbogenresistanz auf den Lichtbogen-Kurzschlußstrom

Brennt in einem induktiven Kreis ein Störlichtbogen, vergrößert dessen Resistanz R_B die Gesamtimpedanz und verkleinert die Gleichstromzeitkonstante des Kreises. Damit ist ein kleinerer Effektivwert $I_{KB(3)}$ und ein kleinerer Lichtbogenstoßstrom $I_{SB(3)}$ im Vergleich zu den galvanischen Kurzschlußstromgrößen ($I_{K(3)}$, $I_{S(3)}$) möglich.

Die Untersuchungen erfolgten mit Störlichtbögen in 12-kV-, 24-kV- und 36-kV-Schaltzellen. Die Leerlaufspannungen der Prüfkreise lagen zwischen 2 kV und 36 kV, die galvanischen Kurzschlußströme zwischen 2 kA und 30 kA. Das Verhältnis der Netzresistanz zur Netzreaktanz lag zwischen $0{,}04 < R/X < 0{,}07$. Ausgewertet wurden die Verhältnisse der Effektivwerte der Kurzschlußströme mit und ohne Lichtbogen $I_{KB(3)}/I_{K(3)}$ sowie der Stoßströme $I_{SB(3)}/I_{S(3)}$ abhängig von der bezogenen Lichtbogenspannung (Bild 6). Der Lichtbogenkurzschlußstrom wird nur um einen zu vernachlässigenden kleinen Wert von 0,5 % erniedrigt. Für den Lichtbogenstoßstrom hingegen sind Absenkungen bis etwa 6 % möglich. Je größer das Verhältnis der Lichtbogenspannung zur Netzspannung ist, desto größer ist der Einfluß auf den Lichtbogenstrom. Für 12-kV-, 24-kV- und 36-kV-Schaltzellen (bezogene Lichtbogenspannungen 0,06 bis 0,08) ist ein 6,4 %, 5,2 % und 4,9 % niedrigerer Lichtbogenstoßstrom als der galvanische Stoßstrom zu erwarten (Bild 6).

2.3. Höhe des Lichtbogenstoßstromes für Prüfungen auf Lichtbogenschutz

Um den praxisgerechten Prüfwert festzulegen, muß man sich folgende Fragen beantworten:

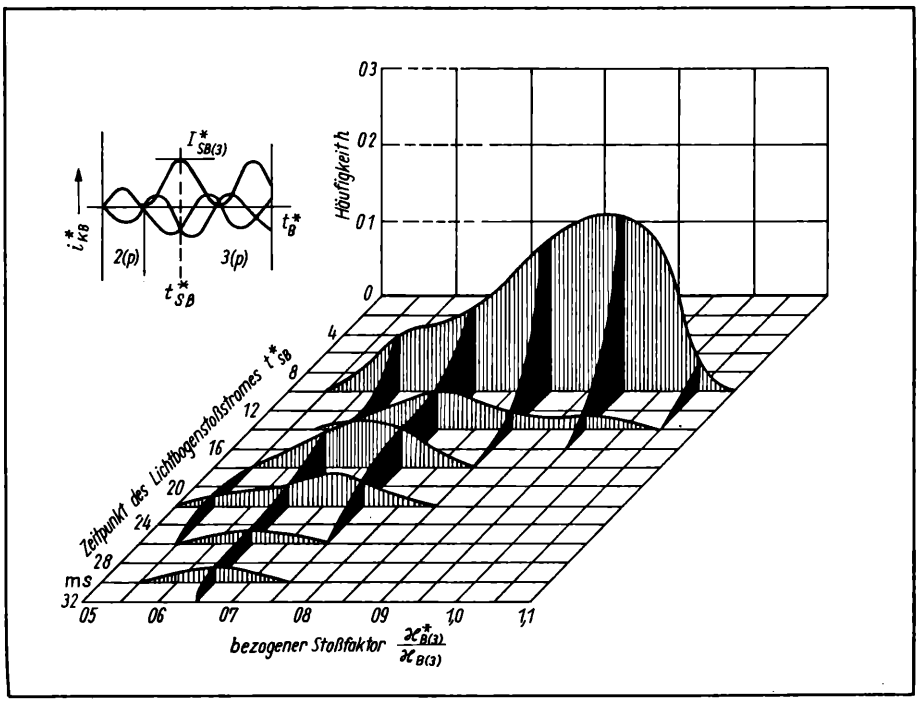
Wie groß ist der theoretisch höchstmögliche Stoßfaktor?

Der Höchstwert des Stoßfaktors (Stoßstromes) bei einer ungleichzeitigen Fehlerentwicklung (symmetrisches Netz mit $R/X = 0{,}07$) ist 17 % größer als bei einer gleichzeitigen Fehlereinleitung [9] bis [14]. Dieser Maximalwert ist bei *galvanischen* Kurzschlüssen erreichbar (Bild 7 — Kurve 1).

Wie groß ist der physikalisch höchstmögliche Stoßfaktor bei Lichtbogenentwicklung?

Bei ungleichzeitiger Lichtbogenentwicklung erreicht die Stoßfaktorüberhöhung nur 13 % (Bild 4, Bild 7 — Kurve 2), da die Zündwinkel über die Sinushalbwelle nicht gleich verteilt sind (Abschn. 2.1. — 1. Etappe).

Bild 5. Häufigkeit des Stoßfaktors und dessen Zeitpunkt bei Lichtbogenentwicklung vom 1poligen Erdschluß-Lichtbogen (1 (p) ES-LB) zum 3poligen Kurzschluß-Lichtbogen (3 (p) KS-LB)



Bei 61 Versuchen war die maximale Stoßfaktorüberhöhung nur 8% (gestrichelte Kurve 2 extrapoliert).

Welchen Einfluß hat die Lichtbogenresistanz auf den Stoßfaktor?

— Jahrzehntelange Erfahrungen zur galvanischen Kurzschlußstromtragfähigkeit haben gezeigt, daß mögliche Stoßfaktorüberhöhungen von 17% nicht geprüft werden müssen. Man prüft mit 100% des galvanischen Stoßstromes und erfaßt 90% aller möglichen Stoßstrombelastungen bei *Nennkurzschlußwechselstrom.*

— Beachtet man für eine Lichtbogenprüfung die Stoßfaktorabsenkung durch die Zündwinkelverteilung von 4% (Bild 7 — Kurve 2, $I_S^* = 1{,}17\, I_{S(3)}$ auf $I^*_{SB} = 1{,}13\, I_{S(3)}$) und durch die Lichtbogenresistanz von 5,5% (Bild 7 — Kurve 3), erfaßt man

Bild 7. Verteilungsfunktion der Stoßfaktoren bei ungleichzeitigem galvanischem Kurzschluß und Lichtbogen-Kurzschluß; Erläuterung der Kurven 1, 2, 3 im Text ▶

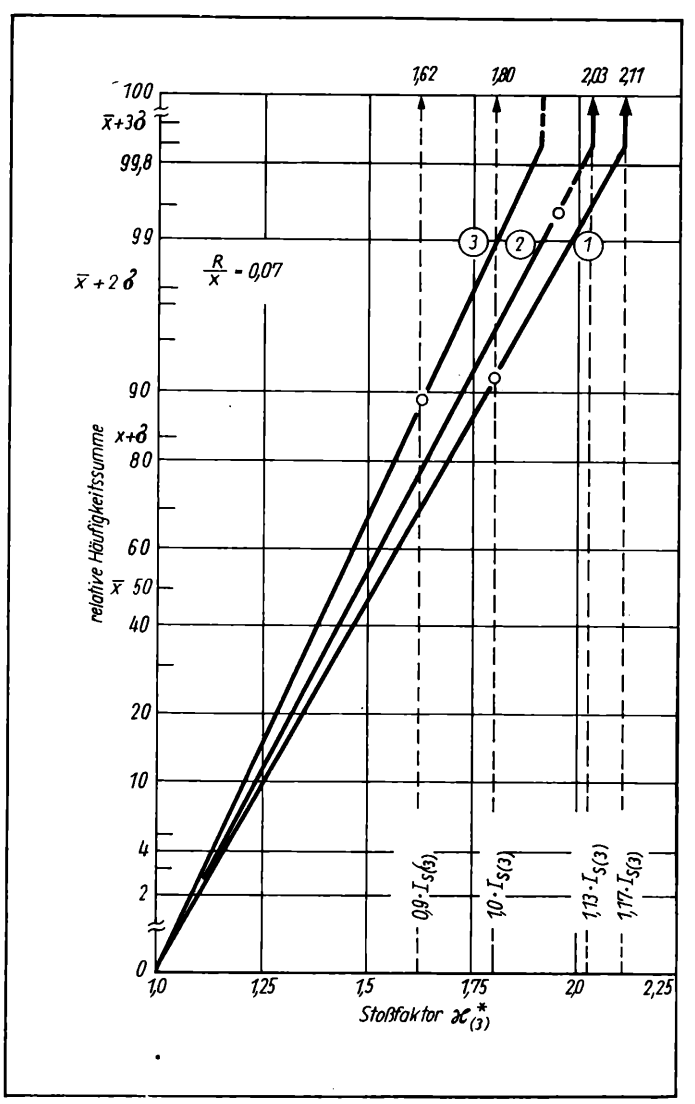
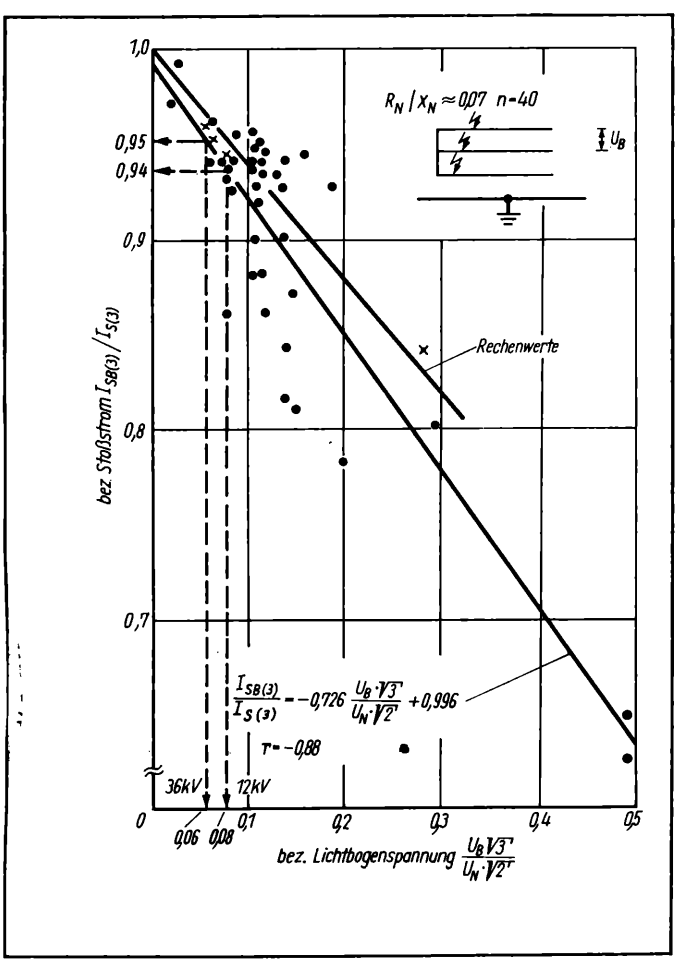


Bild 6. Einfluß der Lichtbogenspannung auf den Lichtbogenstoßstrom
Korrelationskoeffizient $r = -0{,}88$



bei der Lichtbogenprüfung mit 90% des galvanischen Stoßstromes ebenfalls etwa 90% aller Lichtbogenstoßströme bei *Nennkurzschlußwechselstrom*, wie bei einer Prüfung auf galvanische Kurzschlußstromtragfähigkeit mit 100% des galvanischen Stoßstromes.

— Orientierende Untersuchungen haben gezeigt, daß o.g. Schlußfolgerungen bezüglich der Lichtbogendruckbelastung auch dann anwendbar sind, wenn Durchschlagzündwinkel bis $\psi_{u2} = 0°$ auftreten (z. B. bei Fehlerentwicklung aus einpoligen Kurzschlußströmen).

3. Zusammenfassung

Erdschlußlichtbögen entwickeln sich in 3 Etappen zu 3poligen Kurzschluß-Lichtbögen. 97% der Lichtbogenstoßströme sind kleiner als bei 3poligen, zeitgleichen Kurzschluß-Lichtbögen.
Die Lichtbogenresistanz von Störlichtbögen in Mittelspannungs-Schaltzellen verringert den Effektivwert des Kurzschlußstromes praktisch nicht; der Lichtbogenstoßstrom ist dagegen im Mittel um 5,5% niedriger als beim galvanischen Kurzschluß.
Auf Grund der ungleichzeitigen Lichtbogenentwicklung und der Lichtbogenresistanz wird für Lichtbogenprüfungen ein Lichtbogenstoßstrom geringerer Höhe vorgeschlagen. Er sollte, einheitlich für Mittelspannungs-Schaltzellen bis 36 kV, 90% des galvanischen Stoßstromes betragen.
Damit werden bei einer Lichtbogenprüfung die gleiche Anzahl der möglichen Lichtbogenstoßströme (90%) bei Nennkurzschlußstrom erfaßt, wie bei einer Prüfung auf galvanische Kurzschlußstromtragfähigkeit.
Um Lichtbogenprüfungen kontrollierbar und reproduzierbar zu gestalten, ist es weiterhin notwendig, den Lichtbogenkurzschluß 3polig und zeitgleich im Maximum eines Stromes einzuleiten.

Literatur

[1] Elektrotechnische Anlagen, Fabrikfertige Baueinheiten für Nennspannungen über 1 kV bis 72,5 kV Ws. Lichtbogenschutzforderungen. Nachweis des Lichtbogenschutzes. TGL 26469/6; Ausg. Nov. 1979
[2] Wechselspannungs-metallgekapselte Hochspannungsschalt- und -steuergeräte 1 bis 72,5 kV. EC 298, 2. Änderung 1981
[3] Vorläufige Richtlinie für die Prüfung des Verhaltens von typengeprüften Schaltanlagen bei Störlichtbögen. Pehla-Richtlinie Nr. 2., April 1969
[4] Metallgekapselte Schaltanlagen für Nennspannungen größer als 1000 V. Prüfvorschriften zur Lichtbogenfestigkeit KGSZ 42.1804 — 69, Ausg. 1969
[5] Komplette Schaltanlagen, metallgekapselt für Spannungen bis 10 kV. GOST 14694 — 76. Ausg. 1976
[6] *Böhme, H.:* Zur Zündung von Störlichtbögen in Drehstromkreisen und den Stoßfaktoren des Kurzschlußstromes. ELEKTRIE, Berlin 29 (1975) 11, S. 584—586
[7] *Welich, D.:* Ein Beitrag zur Störlichtbogenentwicklung in Mittelspannungs-Schaltzellen. 9. Wiss. Konferenz Sektion Elektrotechnik, TU Dresden 1981. Vortrag B2—12
[8] *Welich, D.:* Beitrag zur Ausbildung mehrpoliger Störlichtbögen und zur Innendruckentwicklung in gekapselten, luftisolierten Mittelspannungs-Schaltzellen. 10. Wiss. Konferenz, Sektion Elektrotechnik TU Dresden 1984. Vortrag H 2-09
[9] *Böhme, H.; Welich, D.; Gnüchtel, K.:* A Contribution to the Formation of Multiphase Arcs and Resulting Pressure Development in a High Voltage Metal Enclosed Switchgear. CIGRE-Meeting des CIGRE-SC 23 „Substation" in Suceava/SR Rumänien, 1983
[10] *Welich, D.:* Zur Ausbildung mehrpoliger Störlichtbögen und zur Innendruckentwicklung in luftisolierten, gekapselten Mittelspannungs-Schaltzellen. Dissertation 83/84 TU Dresden
[11] *Ciok, Z.:* Non-Simultaneous Short-circuits in Threephase Networks with Special Consideration to the Effect upon the Operation of Circuit-breakers. CIGRE-Session (1962), Number 129
[12] *Läuter, J.:* Über die Häufigkeitsverteilung der Stoßfaktoren in Drehstromnetzen. Wissenschaftlich-Technische Mitteilungen des Instituts „Prüffeld für elektrische Hochleistungstechnik" (1966) 2, S. 30—34
[13] *Schröder, E.; Witt, H.:* Die Höhe der Stoßkurzschlußströme in Netzen mit großer Nullimpedanz bei ungleichzeitiger Einleitung von Kurzschlüssen. ETZ-A 90 (1969) 1, S. 14—17
[14] *Tsanakas, D.:* Beitrag zur Berechnung der elektromagnetischen Kurzschlußkräfte und der dynamischen Beanspruchung von Schaltanlagen. Dissertation TH Darmstadt (1976)

EA 5665

Vorschriften und Verfahren zur Kurzschlußstromberechnung für Drehstromsysteme

B. Oswald, KDT, Dresden; V. Pfeiler, KDT, Ilmenau; W. Schulz, KDT, Leipzig

Mitteilung aus dem FUA 1.19 „Berechnungsverfahren für elektrotechnische Anlagen"

Die Kurzschlußstromberechnung zählt zu den häufig durchzuführenden routinemäßigen Untersuchungen des Elektroenergiesystems. Es sind deshalb effektive Verfahren und ausreichende Genauigkeit gefragt.
Die unmittelbare Abhängigkeit der für die Bemessung und den Schutz der Geräte und Anlagen maßgebenden Kurzschlußstromparameter von der Systemgestaltung und dem Auslastungsgrad macht es außerdem erforderlich, daß die Verfahren so einfach sind, daß der Projektant im Entwurfsprozeß und der Betreiber während des Betriebes selbst die Kurzschlußstromberechnung durchführen und Rückschlüsse auf den Entwurf oder die Belastung seiner Geräte und Anlagen ziehen kann. In der letzten Zeit wird diese Arbeitsweise durch die Verfügbarkeit von Arbeitsplatzrechnern noch unterstützt.
Weitere Forderungen an das Berechnungsverfahren entstehen durch die oft unvollständigen oder vom aktuellen Betriebszustand abhängigen und damit weitgehend unbekannten Datenangaben. In [1] wird deshalb eine Berechnungsmethode, die mit „... *einer kleinen Menge gut beschaffbarer und unstrittiger Eingangsdaten* ...' auskommt, gefordert.
Die bekannten Vorschriften [2] [3] [4] zur Kurzschlußstromberechnung beruhen auf vereinfachten Methoden, die diesen Ansprüchen an die Kurzschlußstromberechnung weitgehend gerecht werden. Allen drei Vorschriften ist gemeinsam, daß die Berechnung der charakteristischen Kurzschlußgrößen:

— Stoßkurzschlußstrom I_s (Peak short-circuit current i_p)[1])
— Ausschaltwechselstrom I_a (Symmetrical short-circuit breaking current I_b)
— Thermisch wirksamer Mittelwert des Kurzschlußstromes I_m

auf die Berechnung des Anfangskurzschlußwechselstromes I_k'' (Initial symmetrical short-circuit current I_k'') und die Berechnung des Dauerkurzschlußstromes I_k (Steady-state short-circuit current I_k) auf den Nennstrom I_n (Rated current I_r) zurückgeführt werden.
Die Berechnung von I_k'' ist mit Hilfe der bekannten Ersatzschaltungen für die subtransienten Größen bei den Synchronmaschinen und den transienten Größen bei den Asynchronmaschinen und aus der Kurzschlußleistung[2]) S_k'' bei Netzen (Bild 1) in der komplexen Ebene relativ einfach und exakt möglich. Bei unsymmetrischen Kurzschlüssen können die symmetrischen Komponenten angewendet werden.
Bei bekannter Spannung an der Fehlerstelle hängen die treibenden subtransienten bzw. transienten Spannungen und damit die Anfangskurzschlußwechselströme in den Netzzweigen und an der Fehlerstelle vom stationären Leistungsfluß zwischen den Maschinen und den nichtmotorischen Belastungen ab.

Nur im Leerlaufzustand des Systems vor Kurzschlußeintritt sind alle, auf eine Spannungsebene umgerechneten, treibenden Spannungen gleich der Spannung an der Fehlerstelle.

Dr. sc. techn. *Bernd Oswald* ist wissenschaftlicher Oberassistent an der TU Dresden, Sektion Elektrotechnik, Mitglied des FUA 1.19. Prof. Dr. sc. techn. *Volkmar Pfeiler* ist Dekan der Fakultät für Technische Wissenschaften an der TH Ilmenau, Wissenschaftsbereichsleiter Netz- und Anlagentechnik an der Sektion Elektrotechnik und Vorsitzender des FUA 1.19. Dipl.-Ing. *Wilfried Schulz* ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im IfE/ZRE Leipzig, Abteilung EDV-Anwendersysteme, und Mitglied des FUA 1.19.

[1]) Bezeichnung nach [4]
[2]) Es sei darauf hingewiesen, daß der Begriff Kurzschlußleistung insofern irreführend ist, als die Kurzschlußleistung nicht aus tatsächlichen Kurzschlußgrößen, sondern aus I_k'' und der Netznennspannung gebildet wird. Sie stellt gewissermaßen einen bezogenen Anfangskurzschlußwechselstrom dar und hat dadurch große praktische Bedeutung erlangt.

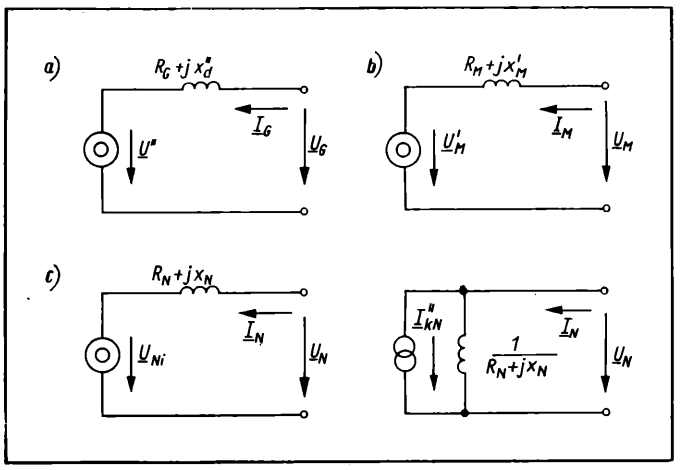


Bild 1. Ersatzschaltungen der Generatoren und Motoren und Ersatznetze mit subtransienten Größen im Mitsystem der symmetrischen Komponenten

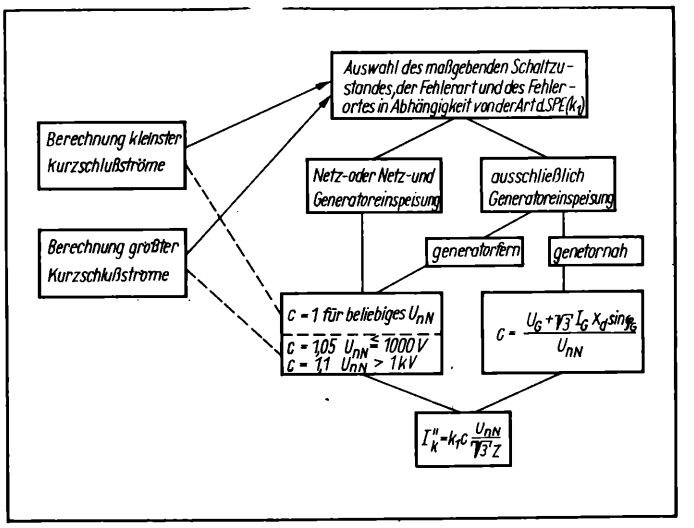


Bild 2. Systematik zur Berechnung des Anfangskurzschlußwechselstromes nach TGL 200-0604

Die Anfangskurzschlußwechselströme sind die Effektivwerte der Wechselanteile der Kurzschlußströme bei Nichtberücksichtigung ihres Abklingens und damit fiktive Werte. Lediglich bei elektrisch sehr weiter Entfernung des Kurzschlusses von den Maschinen findet nahezu kein Abklingen der Wechselanteile statt. Der Zusammenhang zwischen den an den Kurzschlußstromverlauf gebundenen charakteristischen Kurzschlußstromgrößen und dem Anfangskurzschlußwechselstrom hängt außer vom Abklingen des Wechselanteiles auch vom stets abklingenden Gleichanteil ab und ist äußerst kompliziert [5]. Nur für das einfach gespeiste Strahlennetz oder solche Netze, die bei Kurzschluß auf diese einfache Netzform zurückführbar sind, lassen sich die Zusammenhänge noch einfach formulieren und allgemeingültig angeben. Im vermaschten Netz mit unterschiedlichem R/X-Verhältnis der Zweige setzen sich die Teilkurzschlußströme und der Summenkurzschlußstrom an der Fehlerstelle aus einer Summe von unterschiedlich abklingenden Gleichanteilen und einer Summe unterschiedlich abklingender Wechselanteile zusammen, so daß es i.a. nicht möglich ist, aus dem Verlauf im Strahlennetz auf den Kurzschlußstromverlauf im vermaschten Netz zu schließen. Somit besteht die eigentliche Problematik der vereinfachten Verfahren auf der Grundlage der Berechnung von I_k'' in der Ermittlung und Festlegung genügend genauer Abhängigkeiten der eigentlich interessierenden charakteristischen Kurzschlußgrößen vom Anfangskurzschlußwechselstrom für reale Netzformen und -daten.

Das ursprüngliche Problem der Berechnung des komplizierten Ausgleichsvorganges Kurzschluß ist damit auf eine stationäre Netzberechnung (Ermittlung von I_k'') und die entsprechende Auswahl der zwischen I_k'' und den charakteristischen Kurzschlußgrößen vermittelnden Faktoren (z.B. Stoßfaktor $\varkappa$) reduziert, womit dem Anspruch auf Einfachheit voll genüge getan wird.

Andererseits muß man einem solchen Verfahren aber auch einräumen, daß es immer einen gewissen Fehlerbereich aufweist, der in speziellen Fällen auch unbefriedigend hoch sein kann. Es ist deshalb die Aufgabe der die Vorschriften zur Kurzschlußstromberechnung ausarbeitenden oder betreuenden Fachgremien, in der DDR ist dafür der KDT-Fachunterausschuß 1.19 „Berechnungsverfahren für elektrotechnische Anlagen" verantwortlich, sich ständig mit den Berechnungsverfahren und ihrer Vervollkommnung auseinanderzusetzen. Als Beispiel sei auf die in der letzten Zeit durchgeführten Untersuchungen

— zur Berechnung der Kurzschlußströme von Synchrongeneratoren mit statischen Erregersystemen
— zur Berechnung des Anfangskurzschlußwechselstromes, Stoßkurzschlußstromes und Ausschaltwechselstromes von Asynchronmotoren
— zum thermisch wirksamen Mittelwert des Kurzschlußstromes von Asynchronmotoren
— zum Einfluß des Störlichtbogens auf den kleinsten Kurzschlußstrom
— zur thermischen Kurzschlußstromwirkung hinter stoßkurzschlußstrombegrenzenden Einrichtungen
— zur Berechnung der Ströme bei Doppelerdschluß und
— zur Abhängigkeit des Stoßfaktors vom Spannungsbeiwert

hingewiesen [6] bis [9].

Im Bemühen um die vereinfachte Berechnung der größten und kleinsten Anfangskurzschlußwechselströme ohne Kenntnis des aktuellen Leistungsflusses und unter Vernachlässigung der nichtmotorischen Abnehmer wurden in der letzten Zeit zahlreiche Untersuchungen [10] bis [19] vorgenommen, die wesentlich zur Berechnungsvorschrift nach [4] beigetragen haben. Im folgenden soll auf die wesentlichen Unterschiede der Berechnungsvorschriften nach TGL und IEC eingegangen, das Prinzip der Impedanzkorrektur erläutert und Rechenprogramme zur ausführlicheren Kurzschlußstromberechnung, insbesondere zur Berechnung des Kurzschlußstromverlaufes, vorgestellt werden.

1. Kurzschlußstromberechnung nach TGL 200-0604

Der Standard bezieht sich auf die Berechnung folgender Kurzschlußarten:

— dreipoliger Kurzschluß
— zweipoliger Kurzschluß
— zweipoliger Erdkurzschluß
— einpoliger Erdkurzschluß
— einpoliger Erdschluß

in Nieder-, Mittel- und Hochspannungssystemen.

1.1. Berechnung des Anfangskurzschlußwechselstromes

Der Anfangskurzschlußwechselstrom an der Fehlerstelle (Summenkurzschlußstrom) wird nach

$$I_k'' = k_1 \frac{U_{ers}}{Z} \tag{1}$$

mit

$$U_{ers} = c \frac{U_{nN}}{\sqrt{3}} \tag{2}$$

berechnet (Bild 2). Der Faktor k_1 ist je nach Kurzschlußart 1 $\sqrt{3}$ oder 3. Z ist die Ersatzimpedanz der Kurzschlußstrombahn im Bereich der symmetrischen Komponenten und c der Spannungsbeiwert. Gl. (1) wird gleichermaßen für die Berechnung in vermaschten und unvermaschten Netzen verwendet. Da sich bei mehreren, allgemeinen Einspeisungen der Summenkurzschlußstrom aus dem Überlagerungssatz entsprechend

$$I_k'' = \left| \frac{\underline{U}_1''}{\underline{Z}_1} + \frac{\underline{U}_2''}{\underline{Z}_2} + \cdots + \frac{\underline{U}_m''}{\underline{Z}_m} \right| \tag{3}$$

ergibt, stellt das Berechnungsverfahren nach (1) bei vermaschten Netzen mit mehreren unterschiedlichen Einspeisungen, die durch den Kurzschluß nicht in getrennte einfach gespeiste Netze zerfallen, eine Näherung dar. Der Fehler wird um so größer, je unterschiedlicher die tatsächlichen treibenden subtransienten Spannungen $\underline{U}_i''$ sind.

Bei gleichen subtransienten Spannungen $\underline{U}_i'' = U_i''$ könnte für einen bestimmten Spannungsbeiwert c Gl. (3) in (1) überführt werden

$$I_k'' = \left| \frac{1}{\underline{Z}_1} + \frac{1}{\underline{Z}_2} + \cdots + \frac{1}{\underline{Z}_m} \right| U_i'' = k_1 c \frac{U_{nN}}{\sqrt{3}\, Z}. \tag{4}$$

Annähernd gleiche treibende Spannungen liegen vor, wenn nur Netzeinspeisungen vorhanden sind. Eine Netzeinspeisung ist dadurch charakterisiert, daß ihre treibende Spannung konstant ist, so daß der von ihr hervorgerufene Wechselanteil des Kurzschlußstromes nicht abklingt. Wenn die treibenden Spannungen gleich angenommen werden können, lassen sie sich in ihrer Wirkung auch durch eine einzige gleichgroße Spannungsquelle ersetzen, die auch an der Fehlerstelle angeordnet werden kann (Methode der Ersatzspannung an der Fehlerstelle). Bei Generatoreinspeisung (direkt oder über einen Transformator) trifft die Annahme gleicher oder annähernd gleicher treibender Spannungen am wenigsten zu. Die treibenden Spannungen hängen von der Generatorleistung und den Generator- und Transformatorimpedanzen ab. In TGL 200-0604 wird deshalb bei ausschließlicher Generatoreinspeisung und generatornahem Kurzschluß ($I_{k(3)}''/I_{nG} > 1{,}5$ für $P_{nG} \leqq 100$ MW oder $I_{k(3)}''/I_{nG} > 3$ für $P_{nG} > 100$ MW) die Berechnung nach Gl. (3) mit den aktuellen treibenden Spannungen vorgenommen, indem der Spannungsbeiwert c aus dem aktuellen Leistungsfluß und der Generatorklemmenspannung vor Kurzschlußeintritt berechnet wird (s. Bild 2) Im Fall des generatorfernen Kurzschlusses geht die Generatoreinspeisung in eine Netzeinspeisung über und wird wie eine solche behandelt. Bei gemeinsamer Netz- und Generatoreinspeisung (generatornah oder generatorfern) wird wie bei ausschließlicher Netzeinspeisung mit der Ersatzspannung an der Fehlerstelle und vorgegebenen Spannungsbeiwerten in Abhängigkeit vom Berechnungsziel (größter oder kleinster Kurzschlußstrom) und der Nennspannung des Netzes, in dem der Kurzschluß liegt, gerechnet. Vorausgesetzt ist dabei natürlich, daß sich der Berechnungsfall nicht in einfach gespeiste Kurzschlüsse auflösen läßt. Die Behandlung der gemischten Einspeisung (Generator- und Netzeinspeisung) mit der Ersatzspannungsquelle an der Fehlerstelle ist ein Kompromiß hinsichtlich Genauigkeit und Rechenaufwand. Hinsichtlich der Normung ist aber von Vorteil, daß der Spannungsbeiwert, der den stationären Leistungsfluß vor Kurzschluß repräsentiert, einheitlich festgelegt werden kann. Die exakte Berechnungsvorschrift für die ausschließliche Generatoreinspeisung, mit den sich aus dem Leistungsfluß ergebenden Spannungsbeiwerten hat den Nachteil, daß der für das Berechnungsziel (größter oder kleinster Kurzschlußstrom) ungünstigste Ausgangszustand unter Berücksichtigung der aktuellen Transformatorstufung, wie sie in TGL 200-0604 empfohlen wird, i. a. nicht bekannt ist oder mit sehr viel Aufwand erst ermittelt werden muß.

1.2. Berücksichtigung motorischer Abnehmer

Synchronmotoren werden wie Synchrongeneratoren behandelt. Da ihr Anteil nur bedeutend ist, wenn sie direkt auf die Kurzschlußstelle speisen, trifft der Fall „generatornah" zu und der Spannungsbeiwert ist aus dem aktuellen Belastungszustand zu ermitteln. Asynchronmotoren sind ebenfalls wie Generatoren zu behandeln. Ihr Spannungsbeiwert ist kleiner als eins. Der höchste Kurzschlußstrom wird bei Leerlauf des Motors geliefert. Im vermaschten Netz (das nicht in einfach gespeiste Kurzschlußstrombahnen zerfällt) ist dann die Einführung einer einzigen Ersatzspannung am Kurzschlußort nicht ohne größere Verfälschung der motorischen Anteile möglich.

Für die häufig interessierenden Fälle, in denen Motoren direkt auf die Fehlerstelle speisen, kann der Anteil der Motoren getrennt ermittelt werden. Dazu wird empfohlen

$$I_{kM}'' = 0{,}9 \frac{I_A}{I_{nM}} \Sigma I_{nM}. \tag{5}$$

Gl. (5) ist in [2] nicht explizit angegeben, kann aber aus der Beziehung (18), (19) in [2] für den Stoßkurzschluß- und den Ausschaltwechselstrom geschlußfolgert werden. Der Spannungsbeiwert ist demzufolge mit $c = 0{,}9$ festgelegt, was im Nennbetrieb mit $\cos \varphi_n = 0{,}85$ einer bezogenen Motorimpedanz $z_M = 0{,}2$ entspricht. Als bezogene Motorimpedanz wird in Gl. (5) der reziproke Wert des i. a. bekannten Verhältnisses von Nenn- zum Anlaufstrom und nicht die eigentlich maßgebende, aber weniger bekannte transiente Impedanz für Nennschlupf verwendet.

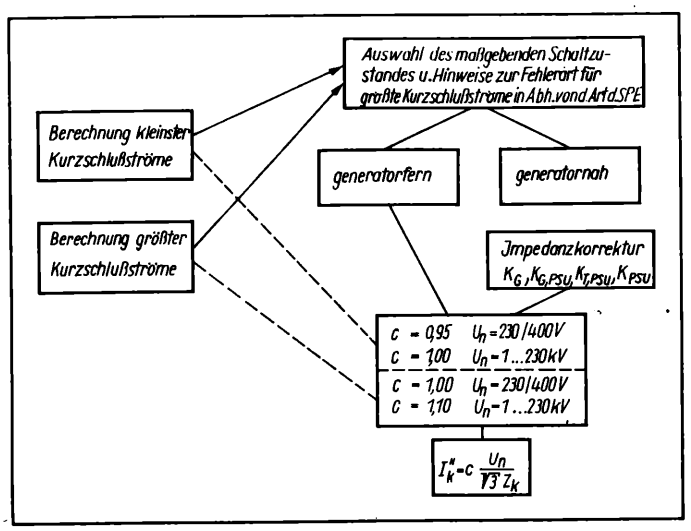


Bild 3. Systematik zur Berechnung des Anfangskurzschlußwechselstrom nach IEC-TC 73

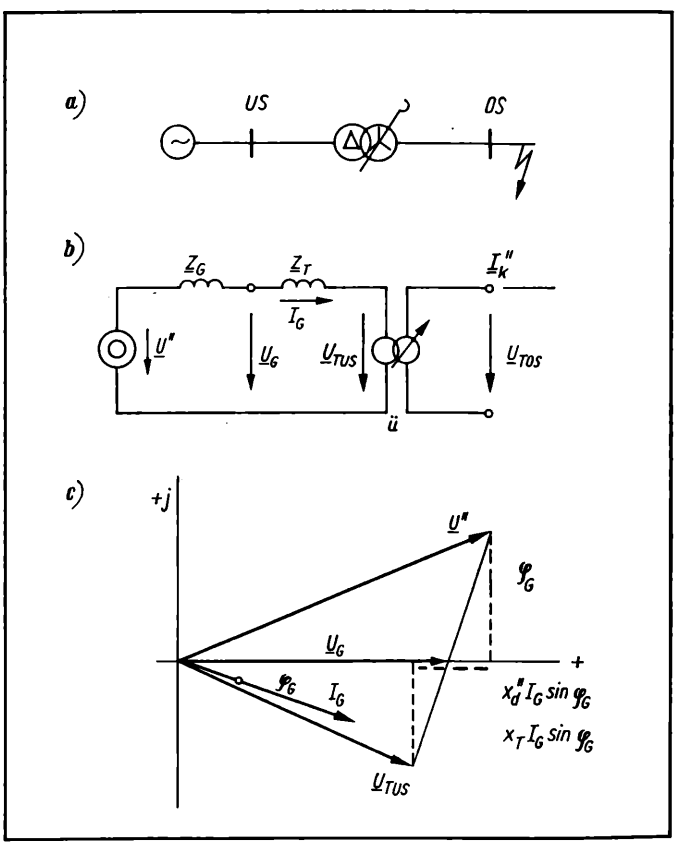


Bild 4. Prinzipschaltbild (*a*), Ersatzschaltung (*b*) und Zeigerbild (*c*) zur Herleitung des Korrekturfaktors K_{PSU} nach [4] (Wirkwiderstände vernachlässigt)

2. Kurzschlußstromberechnung nach IEC

Der Standard [4] regelt die Berechnung des

— dreipoligen Kurzschlusses ohne Erdberührung
— zweipoligen Kurzschlusses mit oder ohne Erdberührung und des
— einpoligen Erdschlusses bzw. Erdkurzschlusses

in Netzen mit Nennspannungen bis 230 kV.

2.1. Berechnung des Anfangskurzschlußwechselstromes

Die wesentlichen Unterschiede zum Berechnungsverfahren nach TGL 200-0604 bestehen in der generellen Verwendung einer (genormten) Ersatzspannung an der Fehlerstelle und der Rechnung mit dem Hauptwert des Übersetzungsverhältnisses (Nennübersetzung) der stellbaren Transformatoren unabhängig von der Art der Speisung oder dem Berechnungsziel (größte oder kleinste Kurzschlußströme s. Bild 3). Damit wird die Vorgehensweise weiter vereinfacht, und es werden auch die „strittigen" Daten Leistungsfluß und

Transformatorstufenstellung „genormt". Es entfällt auch eine Unterscheidung in die Art der Speisung der Kurzschlußstelle (Netz- oder Generator- oder gemischte Einspeisung). Wie bereits unter Abschnitt 1.1. angedeutet, entspricht die Annahme gleicher treibender Spannungen (als Voraussetzung einer einzigen Ersatzspannung an der Fehlerstelle) nicht immer den tatsächlichen Bedingungen. Um diese einfache Methode dennoch bei unterschiedlichen treibenden Spannungen aufrechtzuerhalten, wurde die sogenannte Impedanzkorrektur eingeführt [10] bis [18]. Das Prinzip der Impedanzkorrektur läßt sich anschaulich an Gl. (3) zeigen, wenn beispielsweise die treibende Spannung $\underline{U}_i'' = U_i''$ ausgeklammert wird:

$$I_k'' = \left| \frac{1}{\underline{Z}_1} \frac{\underline{U}_1''}{U_i''} + \frac{1}{\underline{Z}_2} \frac{\underline{U}_2''}{U_i} + \cdots + \frac{1}{\underline{Z}_i} + \cdots + \frac{1}{\underline{Z}_m} \frac{\underline{U}_m''}{U_i''} \right| U_i''. \quad (6)$$

Vernachlässigt man die Winkelunterschiede zwischen den einzelnen treibenden Spannungen, so folgt weiter

$$\begin{aligned} I_k'' &= \left| \frac{1}{\underline{Z}_1} \frac{U_1''}{U_i''} + \frac{1}{\underline{Z}_2} \frac{U_2''}{U_i''} + \cdots + \frac{1}{\underline{Z}_i} + \cdots + \frac{1}{\underline{Z}_m} \frac{U_m''}{U_i''} \right| U_i'' \\ &= \left| \frac{1}{\underline{Z}_1} \frac{1}{k_1} + \frac{1}{\underline{Z}_2} \frac{1}{k_2} + \cdots + \frac{1}{\underline{Z}_i} + \cdots + \frac{1}{\underline{Z}_m} \frac{1}{k_m} \right| U_i'' \\ &= \left| \frac{1}{\underline{Z}_{1,k}} + \frac{1}{\underline{Z}_{2,k}} + \cdots + \frac{1}{\underline{Z}_i} + \cdots + \frac{1}{\underline{Z}_{m,k}} \right| U_i''. \end{aligned} \quad (7)$$

Die Verhältnisse der treibenden Spannungen bezüglich der Spannung U_i'', die nun wieder als Ersatzspannung an der Fehlerstelle fungieren kann, können als Korrekturfaktoren an den Impedanzen aufgefaßt werden. Da in realen Netzen nur die treibenden Spannungen *großer* Kraftwerksblöcke (und die der Motoren) „aus dem Rahmen fallen", kommt man mit einer Beschränkung der Korrektur auf die subtransiente Generatorimpedanz und die Transformatorimpedanz aus (eine Korrektur der Motorimpedanz wird nicht vorgenommen — s. Abschnitt 2.2.), so daß mit einem geringen Mehraufwand das Verfahren der Ersatzspannungsquelle an der Fehlerstelle in *allen* Berechnungsfällen vorgeschrieben werden kann.

Ohne Impedanzkorrektur würde mit der Methode der Ersatzspannung an der Fehlerstelle mit dem höchsten Spannungsbeiwert $c = 1{,}1$ (Berechnung größter Kurzschlußströme) der Teilkurzschlußstrom der großen Kraftwerksblöcke wesentlich zu klein berechnet werden. Für diesen Fehler gibt es zwei Ursachen: Erstens besitzen Generatoren großer Leistung auch eine größere subtransiente Reaktanz, so daß der Spannungsabfall von der Klemme bis zur tatsächlichen treibenden Spannung $\underline{U}''$ bei Nennbetrieb größer als 0,1 p.u. wird, und zweitens weicht die oberspannungsseitige Nennspannung des Blocktransformators stärker von der Netznennspannung nach oben hin ab, so daß bei Generatornennbetrieb ein ungünstigeres Übersetzungsverhältnis $\ddot{u}$ möglich ist. In [17] wird nachgewiesen, daß für das Verhältnis von subtransienter Generatorlängsreaktanz zu Blocktransformatorstreureaktanz $x_d''/x_{ps} > 1$ der maximale Kurzschlußstrom bei vorangegangenem Nennbetrieb des Generators auftritt, und daß die zum größten Kurzschlußstrom führende Stufung des Blocktransformators dann vorliegt, wenn auf der Oberspannungsseite die geringste Spannung, i. a. Netznennspannung U_{nN}, gefahren wird. Für den maximalen dreipoligen Kurzschlußstrom auf der Oberspannungsseite ergibt sich dann nach der Ersatzschaltung in Bild 4 b)

$$I_k'' = \frac{1}{\ddot{u}} I_{kUS}'' = \frac{U_{TUS}}{U_{TOS}} \frac{U''}{|\underline{Z}_G + \underline{Z}_T|} \quad (8)$$

mit

$\ddot{u}$ tatsächlich eingestelltes Übersetzungsverhältnis
$\underline{Z}_G = R_G + \mathrm{j}\, X_d''$ subtransiente Generatorimpedanz (US-Seite)
$\underline{Z}_T = R_{ps} + \mathrm{j}\, X_{ps}$ Transformatorstreuimpedanz (US-Seite).

Die subtransiente Spannung ergibt sich bei Generatornennbetrieb näherungsweise zu (siehe Bild 4 c):

$$U'' = \frac{U_{Gn}}{\sqrt{3}} (1 + x_d'' \sin \varphi_{Gn}) \quad (9)$$

analog gilt bei gleichen Nenndaten von Generator und Transformator:

$$U_{TUS} = \frac{U_{Gn}}{\sqrt{3}} (1 - x_{ps} \sin \varphi_{Gn}) \quad (10)$$

eingesetzt in (8) erhält man:

$$I_k'' = \frac{U_{Gn}}{\sqrt{3}\, U_{TOS}} \cdot \frac{U_{Gn}}{\sqrt{3}\, |\underline{Z}_G + \underline{Z}_T|} (1 + x_d'' \sin \varphi_{Gn})(1 - x_{ps} \sin \varphi_{Gn}). \quad (11)$$

Die Gleichung zeigt den bereits erwähnten Sachverhalt, daß bei der niedrigsten Stufung des Blocktransformators (U_{TOS}) der Kurzschlußstrom maximal wird. Durch Gleichsetzen von (11) mit dem angestrebten Ausdruck:

$$I_k'' = \frac{c\, U_{nN}}{\sqrt{3}\, k\, Z_k} = \frac{U_{\mathrm{ers}}}{Z_{k,\,\mathrm{korr}}} \quad (12)$$

folgt für den Korrekturfaktur

$$k = \frac{c\, U_{nN} \sqrt{3}\, U_{TOS}}{U_{Gn}} \cdot \frac{|\underline{Z}_G + \underline{Z}_T|}{Z_k} \times \frac{1}{(1 + x_d'' \sin \varphi_{nG})} \cdot \frac{1}{(1 - x_{ps} \sin \varphi_{nG})}.$$

Dabei ist Z_k die mit dem Hauptwert des Übersetzungsverhältnisses (entsprechend der geforderten Unabhängigkeit von der aktuellen Stufenstellung) auf die Oberspannungsseite umgerechnete Impedanz der Kurzschlußstrombahn

$$Z_k = \ddot{u}_n^2 |\underline{Z}_G + \underline{Z}_T|.$$

Nimmt man nun noch $\sqrt{3}\, U_{TOS} = U_{nN}$ und $\ddot{u}_n = \frac{U_{nTOS}}{U_{nTUS}} = \frac{U_{nTOS}}{U_{nG}}$ an, und nähert das Produkt der Klammerausdrücke durch $1 + (x_d'' - x_{ps}) \sin \varphi_{nG}$ an, so folgt

für k mit der Bezeichnung K_{PSU} nach [4] (PSU: Power station unit)

$$K_{PSU} = \left(\frac{\ddot{u}_f}{\ddot{u}_n}\right)^2 \frac{c}{1 + (x_d'' - x_{ps}) \sin \varphi_{nG}}. \quad (13)$$

Mit $\ddot{u}_f = \frac{U_{nN}}{U_{nG}}$ wird ein fiktives, nur aus Nenngrößen gebildetes, Übersetzungsverhältnis eingeführt.

Ähnlich wie für Gl. (13) lassen sich auch für die beiden anderen Fälle: Kurzschluß zwischen Generator und Blocktransformator bzw. Kurzschluß im Eigenbedarf die Korrekturfaktoren K_G bzw. $K_{G,\,PSU}$ und $K_{T,\,PSU}$ herleiten [10] [17]. Die „Wirksamkeit" der Korrekturfaktoren hinsichtlich der Verbesserung der Rechenergebnisse mit der einheitlichen Ersatzspannung an der Fehlerstelle — auch bei Kurzschlüssen in vermaschtem Netz, für die sie eine Näherung darstellen — wurde durch umfangreiche Vergleichsrechnungen in Netzen nachgewiesen [10], [17], [19]. Während in den Berechnungsbeispielen nach [17] ohne Impedanzkorrektur Fehler im Bereich von + 13 % bis — 22 % auftraten, werden mit der Impedanzkorrektur in der überwiegenden Anzahl der Kurzschlußfälle die Fehler im Vergleich zum Überlagerungsverfahren unter ± 5 % gedrückt [18].

Die Impedanzkorrekturen werden nur bei der Berechnung generatornaher Kurzschlüsse vorgenommen. Als Kriterium für generatornah gilt, wenn für einen Generator $I_{k\,(3)}''/I_n > 2$, unabhängig von der Nennleistung erfüllt ist oder wenn der Anteil der Motoren am Stoßkurzschlußstrom größer als 5 % wird. Die aktuelle Stufenstellung der stellbaren Transformatoren wird bei generatorfernem Kurzschluß also bewußt vernachlässigt, während für die generatornahen Kurzschlüsse die zum höchsten Kurzschlußstrom führende Stufenstellung im Korrekturfaktor berücksichtigt ist.

2.2. Berücksichtigung motorischer Abnehmer

Bei generatorfernen Kurzschlüssen und der Berechnung minimaler Kurzschlußströme werden neben den nichtmotorischen Abnehmern (die generell vernachlässigt werden), auch die Motoren vernachlässigt. Ansonsten werden die Motoren nur dann berücksichtigt wenn

$$\Sigma I_{nM} > 0{,}01\, I_k''$$

wird, wobei I_k'' der Anfangskurzschlußwechselstrom ohne Motoreinfluß ist. Die Motoren werden dann ebenfalls in das Berechnungsverfahren mit der Ersatzspannung an der Fehlerstelle einbezogen, ohne daß eine Impedanzkorrektur erfolgt. Damit wird natürlich der Anteil der Motoren am Anfangskurzschlußwechselstrom zu groß berechnet. Der Vorschlag [12], auch die Motorimpedanz entsprechend zu korrigieren, fand keinen Niederschlag in [4]. Der Fehler in I_k'' wird in Kauf genommen, da der Anteil der Motoren i. a. nicht dominiert. Ist ihr Anteil größer als 5 %, so wird der Kurzschluß als generatornah — also mit abklingendem Wechselanteil — behandelt und der Fehler in I_k'' wird bei der Festlegung des R/X-Verhältnisses für die Ermittlung des Stoßkurzschlußstromes über den Stoßfaktor $\varkappa$ und des gegenüber Generatoren zusätzlichen Fak-

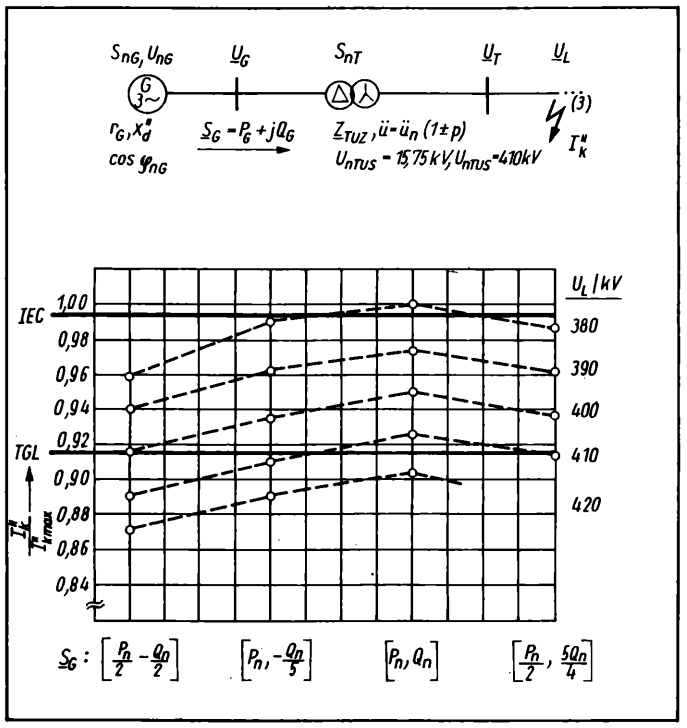


Bild 5. Berechnung des maximalen Kurzschlußstromes eines 210-MW-Kraftwerksblockes nach verschiedenen Verfahren ([2], [4], [20])

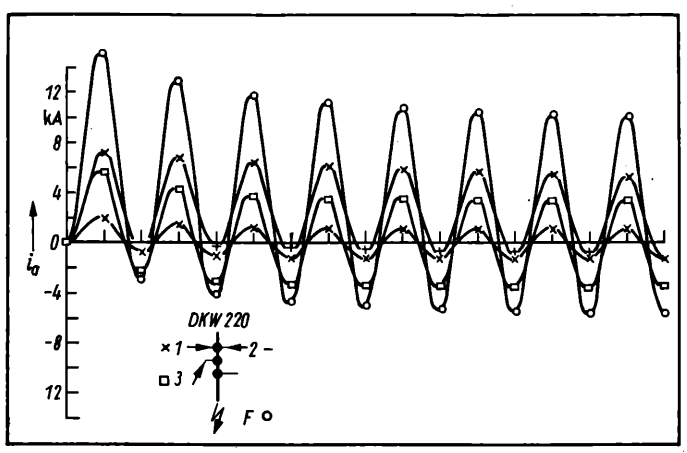


Bild 6. Kurzschlußstromverläufe (Teilkurzschlußströme und Summenkurzschlußstrom) in dem zum Stoßkurzschlußstrom führenden Strang bei 3poligem Kurzschluß im Spannungsnulldurchgang in einem 220/380-kV-Verbundnetz (berechnet mit Digitalprogramm KURT)

tors q für die Bestimmung des Ausschaltwechselstromes korrigiert [11].

3. Weitere Verfahren zur Kurzschlußstromberechnung

Die Vorschriften zur Kurzschlußstromberechnung lassen ausdrücklich auch andere Verfahren zu, wenn diese genauer sind und damit ökonomische Vorteile erzielt werden können.

Solche Verfahren sind beispielsweise die digitale Berechnung des Anfangskurzschlußwechselstromes mit den tatsächlichen treibenden Spannungen der Generatoren und Motoren im Anschluß an eine stationäre Leistungsflußberechnung. Ein entsprechendes Programm ist in [20] beschrieben.

Bild 5 zeigt die Ergebnisse einer Untersuchung des Teilkurzschlußstromes eines 210-MW-Generators, die mit diesem Programm durchgeführt wurde [21]. Bei Kurzschluß auf der Oberspannungsseite des Blocktransformators erhält man bei Berücksichtigung der zulässigen unterschiedlichen Betriebs- und Übertragungsbedingungen (P_G, Q_G, U_L) die im Diagramm durch Punkte markierten Kurzschlußstromverhältnisse. Der höchste Anfangskurzschlußwechselstrom $I''_{k\,max}$, auf den alle I_k'' bezogen sind, ergibt sich wie bereits in Abschnitt 2.1. ausgeführt, bei Nennbetrieb und der niedrigsten Spannung 380 kV an der Fehlerstelle. Im Vergleich dazu sind die Werte angegeben, die sich mit den Berechnungsverfahren nach

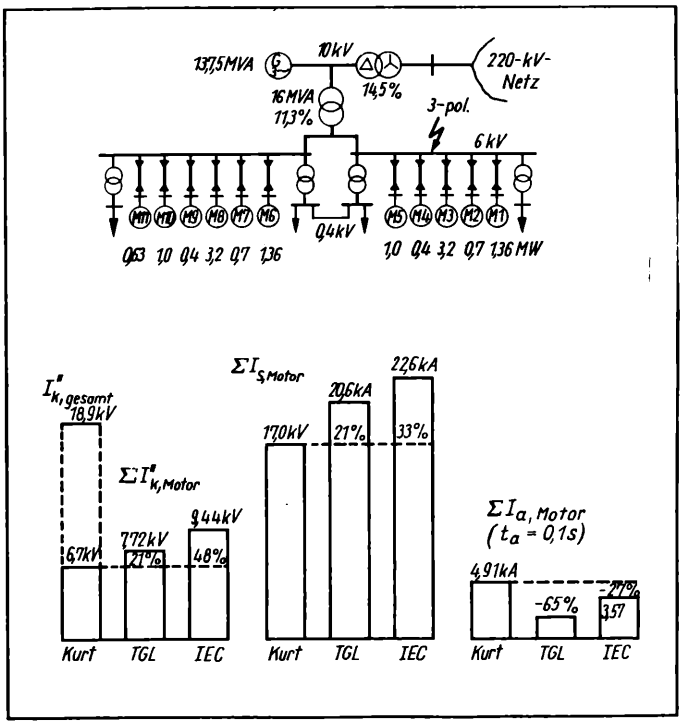


Bild 7. Vergleich zwischen den Berechnungsergebnissen nach TGL 200-0604, IEC-TC 73 und KURT für 3poligen Kurzschluß im Kraftwerkseigenbedarfsnetz

TGL (generatorfern) [2] und IEC [4] ermitteln lassen. Der Vergleich zeigt, daß der maximale Teilkurzschlußstrom des Blockes um etwa 8 % größer ist, als es die Berechnung nach TGL ergibt. Der Genauigkeitsgewinn der Impedanzkorrektur nach IEC ist deutlich sichtbar.

Insbesondere im Zusammenhang mit der Analyse von Störungen oder zur Ermittlung der Stoßmomente bei Kurzschluß oder zur genauen Ermittlung der Momentanwertverläufe in allen Netzzweigen für moderne Schutzkonzeptionen werden die Momentanwertverläufe der Ströme und Spannungen benötigt. Hierzu sind Rechenprogramme, die das Zustands-Differentialgleichungssystem des Netzes und der Generatoren und Motoren lösen, geeignet. Zur Beherrschung des damit verbundenen hohen rechentechnischen Aufwandes sind hocheffektive Algorithmen erforderlich [22]. Eine besondere Bedeutung haben die ausführlicheren Rechenprogramme auch für die Überprüfung und Weiterentwicklung der vereinfachten Verfahren, da experimentelle Vergleiche immer seltener möglich sind.

Im Bild 6 sind die mit dem an der TU Dresden entwickelten Digitalprogramm KURT [23] berechneten Stromverläufe bei 3poligem Kurzschluß in einem größeren 220/380-kV-Verbundnetz dargestellt. Die Abweichungen in den charakteristischen Kurzschlußgrößen zu der Berechnung nach TGL (generatorferner Kurzschluß, $c = 1{,}1$) liegen in der Größenordnung —7 %, d.h. die Kurzschlußgrößen werden nach KURT kleiner berechnet.

Das Digitalprogramm KURT ist auch zur Berechnung der Strom- und Spannungsverläufe bei unsymmetrischen Kurzschlüssen geeignet und wertet automatisch die Stromverläufe hinsichtlich der charakteristischen Kurzschlußgrößen aus [24].

Einen weiteren Vergleich zwischen den verschiedenen Berechnungsverfahren enthält Bild 7 für 3poligen Kurzschluß in einem Kraftwerkseigenbedarfsnetz mit hohem motorischen Lastanteil. Die Unterschiede in den Berechnungsergebnissen zwischen TGL und IEC sind systematischer Natur entsprechend den in den Abschnitten 1.2. und 2.2. gegebenen Erläuterungen zur Verwendung der treibenden Spannungen für die Motoren. Die Ergebnisunterschiede zwischen dem Programm KURT und den standardisierten Verfahren ergeben sich außerdem aus der Verwendung einheitlich festgelegter Motorparameter bei den standardisierten Verfahren (bei TGL wurde nach Gl. (24), Tabelle 6, gerechnet), die zufällige Fehler verursachen. Beim Vergleich der Ausschaltströme ist zu beachten, daß im Programm KURT der unsymmetrische Ausschaltstrom (die Gleichglieder der Motoren sind nach 100 ms noch nicht völlig abgeklungen) ermittelt wurde.

Die vergleichenden Rechenbeispiele machen deutlich, daß gewisse Unsicherheiten der standardisierten Rechenverfahren nur bei star-

kem Maschineneinfluß (Generatoren und Motoren) auftreten. Das komplizierte, von vielen Einflußgrößen abhängige, dynamische Verhalten der Generatoren und Motoren ist nun einmal schwer zu vereinheitlichen und damit der Normung zugänglich zu machen. Das Beispiel Impedanzkorrektur zeigt aber, daß eine ständige Weiterentwicklung der Berechnungsstandards unter Berücksichtigung der in der Berechnungspraxis aufgetretenen Probleme erforderlich ist und zu verbesserten (nicht komplizierteren) Verfahren führt.

Unabhängig davon kann eingeschätzt werden, daß die standardisierten Berechnungsverfahren heute einen solchen Stand erreicht haben, daß sie dem Ingenieur eine zuverlässige Richtlinie für die routinemäßige Kurzschlußstromberechnung sind. Die wenigen „kritischen" Ausnahmefälle sind dem erfahrenen Berechner bekannt und können mit weitergehenden Verfahren, auf deren Zulässigkeit in [2] ausdrücklich hingewiesen wird, untersucht werden.

Literatur

[1] *Hosemann, G.; Rittinghaus, D.:* Einfluß der Netzbetriebs-Größen auf die Kurzschlußstromstärke. 25. Intern. Wiss. Koll. TH Ilmenau 1980: Vortragsreihe „Betriebsmittel- und Anlagengestaltung für den Elektroenergietransport", S. 19—23

[2] DDR-Standard TGL 200-0604/01 und /02: Berechnung von Kurzschlußströmen; verbindlich ab 1. 1. 1977

[3] VDE 0102: Leitsätze für die Berechnung der Kurzschlußströme: Teil 1 Drehstromanlagen mit Nennspannungen über 1 kV; gültig ab 1. 11. 1971

[4] IEC-TC 73 Short-circuit currents: Draft for the editing comittee short-circuit current calculation in three-phase A. C. systems 26. July 1984

[5] *Koglin, H.-J.:* Der abklingende Gleichstrom beim Kurzschluß in Energieversorgungsnetzen. Dissertation TH Darmstadt 1971

[6] *Pfeiler, V.;* u.a.: Kurzschlußstromberechnung und -beanspruchung. Wiss.-techn. Veranstaltung am 14. 2. 85 in Halle aus Anlaß des 20jährigen Bestehens des FUA 1.19 „Berechnungsverfahren für elektrotechnische Anlagen". Tagungsmaterial

[7] *Oswald, B.:* Zur Berechnung des Stoßkurzschlußstromes nach TGL 200-0604. ELEKTRIE, Berlin 37 (1983) 12, S. 649—651 und ELEKTRIE, Berlin 39 (1985) 6, S. 233

[8] *Loeper, B.:* Näherungsweise Berechnung des thermisch wirksamen Mittelwertes des Kurzschlußstromes von Asynchronmotoren. Der Elektro-Praktiker, Berlin 38 (1984) 12, S. 425

[9] *Stade, D.; Schau, H.:* Berechnung der minimalen Kurzschlußströme unter Berücksichtigung von Störlichtbögen. Der Elektro-Praktiker, Berlin 38 (1984) 4, S. 136—138

[10] *Oeding, D.:* Grundlagen zur Kurzschlußstromberechnung. Stand der Arbeiten an der neuen VDE-Bestimmung 0102. Technischer Bericht 1 — 248 Kurzschlußströme der FGH 1981, S. 199—240

[11] *Oeding, D.:* Kurzschlußstromberechnung in Netzen, Stand der Arbeiten bei IEC, TC 73. Vortrag anläßlich der VDE Tage in Budapest vom 14.—18. September 1983

[12] *Scheifele, J.:* Beitrag von Drehstrom-Asynchronmotoren zum Kurzschlußstrom in Netzen der Energieversorgung. Dissertation TH Darmstadt 1984

[13] *Hosemann, G.; Balzer, G.:* Der Ausschaltwechselstrom beim dreipoligen Kurzschluß im vermaschten Netz. etz-Archiv 6 (1984) 2, S. 51—56

[14] *Funk, G.; Schäfer, W.:* Berechnung der Teilkurzschlußströme von Kraftwerksblöcken. etz 103 (1982) 5, S. 232—238

[15] *Funk, G.:* Einfluß der Netzdaten und Betriebsbedingungen auf die Größe der Anfangs-Kurzschlußwechselströme bei dreipoligem Kurzschluß. Techn. Mitt. AEG-TELEFUNKEN 71 (1981) 4/5, S. 168—177

[16] *Oeding, D.; Scheifele, J.:* Calculation of short-circuit currents in high-voltage systems Proc. of the 7th PSCC 12. 07.—17. 07. 1981 Lausanne/Schweiz S. 949 bis 956

[17] *Schäfer, W.:* Impedanzkorrekturverfahren zur Kurzschlußstromberechnung. Dissertation Universität Hannover 1983

[18] *Schäfer, W.:* Kurzschlußstromberechnung unter Anwendung des Impedanzkorrekturverfahrens. etz-Archiv 7 (1985) 1, S. 25—31

[19] *Kunath, M.:* Die Anforderungen an die Netznachbildung bei der Kurzschlußstromberechnung im Hochspannungsnetz. Dissertation TH Aachen 1979

[20] *Schulz, W.:* Ein neues Rechenprogramm zur dreipoligem Kurzschlußstromberechnung für große Elektroenergieversorgungsnetze. ELEKTRIE, Berlin 32 (1978) 1, S. 37—40

[21] *Schulz, W.:* Berechnung der Teilkurzschlußströme von großen Kraftwerksblöcken nach verschiedenen Verfahren. Tagung Kurzschlußstromberechnung und -beanspruchung am 14. 2. 1985 in Halle

[22] *Oswald, B.:* Effektive Berechnung der Kurzschlußstromverläufe in großen Elektroenergiesystemen durch getrennte Berechnung der Gleich- und Wechselanteile. ELEKTRIE, Berlin 37 (1983) 9, S. 455—457

[23] *Fuchs, R.:* Digitale Berechnung und Auswertung von Kurzschlußstromverläufen in Elektroenergiesystemen. Dissertation TU Dresden (1985)

[24] *Oswald, B.; Fuchs, R.:* Anwendung einer effektiven Methode zur Berechnung unsymmetrischer Kurzschlüsse in Elektroenergiesystemen. 10. Wiss. Konferenz der Sektion Elektrotechnik, TU Dresden 1984. Themengruppe E S. 39—44

EA 5666

Anwendung der Linearoptimierung bei der zuverlässigkeitsorientierten Optimierung des elektrischen Regimes

S. Rausendorf, KDT, Dresden

Verwendete Formelzeichen und Indizes

Skalare Größen

K_I	Faktor der Stromüberschreitung
K_U	Faktor der Spannungsunter- bzw. Spannungsüberschreitung
I_{kl}	Strom auf der KP-Verbindung $k - l$ am KP k
$I_{\max kl}$	maximal zulässiger Strom auf der KP-Verbindung $k - l$
Θ	Spannungswinkel
U	Spannungsbetrag
U_N	Nennspannung
$U_{\min}$	minimaler Spannungsbetrag
$U_{\max}$	maximaler Spannungsbetrag
P_V	Netzverluste
P_k	Wirkleistung am KP k
P_A	Wirkleistungsabnahme
P_E	Wirkleistungseinspeisung
$P_{E\min}$	minimale Wirkleistungseinspeisung
$P_{E\max}$	maximale Wirkleistungseinspeisung
$\mathrm{d}P_A$	Wirkleistungsreserve
Q_k	Blindleistung am KP k
Q_A	Blindleistungsabnahme
Q_E	Blindleistungseinspeisung
$Q_{E\min}$	minimale Blindleistungseinspeisung
$Q_{E\max}$	maximale Blindleistungseinspeisung
$\mathrm{d}Q_A$	Blindleistungsreserve
β	Faktor zur Aufteilung der Wirkleistungsreserve
γ	Faktor zur Aufteilung der Blindleistungsreserve
Y_{kl}	Admittanz der KP-Verbindung $k - l$
δ_{kl}	Impedanzwinkel der KP-Verbindung $k - l$
t_{kl}	Reglerstufung des Transformators $k - l$
$t_{\min kl}$	minimale Reglerstufung des Transformators $k - l$
$t_{\max kl}$	maximale Reglerstufung des Transformators $k - l$
$\ddot{u}_{kl}$	Betrag des komplexen Übersetzungsverhältnisses für den Transformator $k - l$
λ_{kl}	Winkel des komplexen Übersetzungsverhältnisses für den Transformator $k - l$
K_V	spezifische Netzverlustkosten
K_G	Gestehungskosten der Wirkleistung
K_0, K_1, K_2, K_3	Kostenkoeffizienten für die Gestehung der Wirkleistung
C_p	Faktor für Wirkleistungsreserve
C_Q	Faktor für Blindleistungsreserve
n	Anzahl der KP
n_E	Anzahl der KP mit Einspeisungen
n_A	Anzahl der KP mit Abnahmen
n_T	Anzahl der Regeltransformatoren
m	Anzahl der Übertragungselemente
c	Zielfunktionskoeffizient
b	Begrenzungselement

Vektorielle Größen

$\boldsymbol{x}$	Vektor der Optimierungsvariablen
$\Delta \boldsymbol{x}$	Vektor der Änderung der Optimierungsvariablen
$\boldsymbol{u}$	Vektor der KP-Spannungsbeträge
$\boldsymbol{\Theta}$	Vektor der KP-Spannungswinkel
$\boldsymbol{p_E}$	Vektor der eingespeisten Wirkleistungen
$\boldsymbol{q_E}$	Vektor der eingespeisten Blindleistungen

Dr.-Ing. *Siegmar Rausendorf* ist Entwicklungsingenieur im Anlagenlabor des VEB Transformatoren- und Röntgenwerk „Hermann Matern" Dresden. Er war zur Zeit der Abfassung der Arbeit Forschungsstudent an der Sektion Elektroenergieversorgung der Ingenieurhochschule Zittau.

$\boldsymbol{t}$	Vektor der Stufungen von Regeltransformatoren
$\boldsymbol{c}$	Vektor der Zielfunktionskoeffizienten
$\boldsymbol{b}$	Begrenzungsvektor (Vektor der rechten Seiten)
$\boldsymbol{A}$	(Nebenbedingungs-) Koeffizientenmatrix
$\boldsymbol{y}$	Vektor der dualen Variablen
$\boldsymbol{0}$	Nullvektor

Der Optimierung von Elektroenergiesystemen (EES) wird seit über zwei Jahrzehnten mit der Zielstellung [1]

— der quantitätsgerechten Versorgung der Abnehmer mit Elektroenergie
— die notwendige Qualität der gelieferten Elektroenergie zu garantieren und
— der Optimierung der Kosten des Gesamtprozesses

große Aufmerksamkeit gewidmet. Dabei stellt die Reihenfolge der Ziele gleichzeitig deren Wichtigkeit dar. Das Ziel einer quantitätsgerechten Versorgung, die die höchste Priorität besitzt, ist auch als Forderung zu betrachten, welche nur erfüllbar ist, wenn das EES eine gewisse Zuverlässigkeit aufweisen kann. Daher wird sowohl national als auch international daran gearbeitet, eine maximale Zuverlässigkeit bei der Steuerung des EES zu erreichen. Dieses Problem führt zu einer Optimierungsaufgabe, deren Lösung auf Grund der Berücksichtigung der nichtlinearen Leistungsflußgleichungen sowie der zunehmenden Komplexität des EES einen sehr großen Bedarf an Speicherplatz und Rechenzeit bedingt [2]. Damit ist allerdings die Anwendung solcher Verfahren auf kleine Netze beschränkt, sofern keine revolutionierende Änderung der Elektronischen Datenverarbeitungsanlagen (EDVA) in bezug auf Rechengeschwindigkeit und Speicherkapazität eintritt. Da aber in nächster Zeit eine solche Änderung nicht abzusehen ist, sind andere Mittel und Wege zu suchen. Internationalen Publikationen zufolge ist ein deutlicher Trend zur Linearoptimierung zu erkennen, da diese Verfahren mit Abstand die schnellsten Optimierungsalgorithmen sind [3] [4]. Diese Verfahren eignen sich ausschließlich für lineare Probleme, d.h. lineare Zielfunktion mit linearen Nebenbedingungen, wodurch die Anwendung für die Optimierung des elektrischen Regimes von Elektroenergiesystemen nicht unproblematisch ist. Im vorliegenden Artikel wird auf die mathematische Modellierung, die Linearisierung mittels Reihenentwicklung sowie die programmtechnische Realisierung dieses Problems eingegangen.

1. Das mathematische Modell

1.1. Allgemeines Optimierungsmodell

Die obengenannten Ziele bilden die wesentlichen Grundlagen zur Formulierung der Zielfunktion, welche im einzelnen folgende Terme beinhaltet:

1.) Maximierung der Anzahl der beherrschbaren Störungen
2.) Maximierung der Netzreserve
3.) Minimierung der Netzverluste
4.) Minimierung der Wirkleistungsgestehung

Daraus folgt die mathematische Formulierung:

ZF:

$$\max \left\{ \begin{array}{l} \text{zu 1.)} \\ \sum\limits_{m} K_{Ikl}(I_{\max kl} - I_{kl}) + \sum\limits_{i=1}^{n_A} K_{Ui}(U_i - U_{\min i}) \\ + \sum\limits_{j=1}^{n_E} K_{Uj}(U_{\max j} - U_j), \\ \text{Zu 2.)} \\ C_p \sum\limits_{i=1}^{n_A} (-P_{Ei} - P_{Ai} + P_i) \\ + C_Q \sum\limits_{i=1}^{n_A} (-Q_{Ei} - Q_{Ai} + Q_i), \\ \text{zu 3.)} \\ - K_V P_V, \\ \text{zu 4.)} \\ - \sum\limits_{j=1}^{n_E} (K_{1j} P_{Ej} + K_{2j} P^2_{Ej} + K_{3j} P^3_{Ej}) \end{array} \right\} \quad (1)$$

Die Extremwertermittlung erfolgt unter Beachtung folgender in Nebenbedingungen mathematisch formulierten technischen Restriktionen des EES:

Gleichheits-NB:

— Leistungsfluß

$$P_{Ek} + P_{Ak} - P_k = 0 \qquad k = 1, \ldots, n \qquad (2)$$

$$Q_{Ek} + Q_{Ak} - Q_k = 0 \qquad k = 1, \ldots, n \qquad (3)$$

Ungleichheits-NB:

— Wirkleistungseinspeisungen

$$P_{E\min k} - P_{Ek} \leqq 0 \qquad k = 1, \ldots, n_E \qquad (4)$$

$$-P_{E\max k} + P_{Ek} \leqq 0 \qquad k = 1, \ldots, n_E \qquad (5)$$

— Blindleistungseinspeisungen

$$Q_{E\min k} - Q_{Ek} \leqq 0 \qquad k = 1, \ldots, n_E \qquad (6)$$

$$-Q_{E\max k} + Q_{Ek} \leqq 0 \qquad k = 1, \ldots, n_E \qquad (7)$$

— Knotenpunktspannungen

$$U_{\min k} - U_k \leqq 0 \qquad k = 1, \ldots, n_A \qquad (8)$$

$$-U_{\max k} + U_k \leqq 0 \qquad k = 1, \ldots, n \qquad (9)$$

— Stufungen der Regeltransformatoren

$$t_{\min kl} - t_{kl} \leqq 0 \qquad \text{für } n_T \text{ Regeltransformatoren} \qquad (10)$$

$$-t_{\max kl} + t_{kl} \leqq 0 \qquad \text{für } n_T \text{ Regeltransformatoren} \qquad (11)$$

— Ströme

$$-I_{\max kl} + I_{kl} \leqq 0 \qquad \text{für } m \text{ Übertragungselemente} \qquad (12)$$

1.2. Wahl der Optimierungsvariablen

Sämtliche im mathematischen Modell auftretenden Größen können in

— konstante Größen und in
— variable Größen

eingeteilt werden.

Als konstante Größen werden hierbei betrachtet:
— die Abnahmewirk- und Abnahmeblindleistung
— die minimalen und maximalen Wirkleistungseinspeisungen
— die minimalen und maximalen Knotenpunktspannungen
— die minimalen und maximalen Reglerstufungen regelbarer Transformatoren und
— die maximal zulässigen Ströme.

Die variablen Größen ergeben sich einerseits aus den in Betracht kommenden Maßnahmen zur Leistungsflußsteuerung, wie
— Schaltmaßnahmen
— Änderung der Wirkleistungseinspeisungen
— Änderung der Blindleistungseinspeisungen oder
— Änderung des Übersetzungsverhältnisses von Transformatoren sowie andererseits aus den Netzzustandsgrößen
— Spannungsbetrag und
— Spannungswinkel.

Bei Berücksichtigung der Tatsache, daß bisher noch keine stetige Funktion des Schaltzustandes in Abhängigkeit der Leistungsflußgleichungen existiert, läßt sich der Vektor der Optimierungsvariablen wie folgt darstellen

$$\boldsymbol{x} = \begin{pmatrix} \boldsymbol{u} \\ \boldsymbol{\Theta} \\ \boldsymbol{p_E} \\ \boldsymbol{q_E} \\ \boldsymbol{t} \end{pmatrix}.$$

Alle nunmehr nicht explizit auftretenden Größen werden als Funktion der Optimierungsvariablen formuliert, wobei zu beachten ist, daß funktionale Nebenbedingungen grundsätzlich die Lösungsfindung negativ beeinflussen.
Somit stellt also der Vektor der Optimierungsvariablen einen Kompromiß zwischen der Anzahl der Optimierungsvariablen und der Anzahl der funktionalen Abhängigkeiten dar.

1.3. Linearisierung mittels TAYLOR-Reihenentwicklung

Das im Abschn. 1.1. aufgestellte Optimierungsmodell ist bezüglich der gewählten Optimierungsvariablen nichtlinear, so daß die Anwendung der Linearoptimierung vorerst unmöglich ist. Deshalb wird das Modell in eine Reihe nach TAYLOR entwickelt und nach dem linearen Glied abgebrochen.

$$\mathrm{f}(\boldsymbol{x} + \Delta \boldsymbol{x}) = \mathrm{f}(\boldsymbol{x}) + \mathrm{f}'(\boldsymbol{x})\,\Delta \boldsymbol{x}\,. \tag{13}$$

Bei entsprechender Kleinheit der Änderung ist der Abbruch ohne nennenswerten Genauigkeitsverlust möglich. Allerdings muß — wie aus Gl. (13) ersichtlich — die stetige Differenzierbarkeit der zu linearisierenden Funktionen vorausgesetzt werden.

1.4. Darstellung der Zielfunktionsterme

1.4.1. Allgemeine Betrachtungen

Auf Grund der Tatsache, daß sämtliche Optimierungsprobleme in den beiden Etappen

— Suche einer zulässigen Lösung und
— Optimierung der vorgegebenen Zielfunktion

gelöst werden, kommt der Ermittlung eines zulässigen Leistungsflusses eine besondere Bedeutung zu. Bei Anwendung der Linearoptimierung ist die Ermittlung eines zulässigen Leistungsflusses zum einen über ein lineares Hilfsproblem und primalen Simplexalgorithmus sowie zum anderen über die duale Aufgabe und dualen Simplexalgorithmus möglich. Da erstere Verfahrensweise in [6] ausführlich beschrieben ist und das Hilfsproblem noch verfahrensbedingte Speicherplatzforderungen hat, soll hier nicht weiter darauf eingegangen werden. Als bedeutend effektiver (bzgl. Speicherplatz) kann dafür die Lösung der dualen Aufgabe eingeschätzt werden.

1.4.2. Berechnen eines zulässigen Leistungsflusses mittels dualer Simplexmethode

Zu jeder primalen Aufgabe existiert eine duale. Den Unterschied macht die Gegenüberstellung beider Normalformen deutlich.

$$\begin{aligned} &\boldsymbol{c}^T \boldsymbol{x} \Rightarrow \text{Maximum} && \boldsymbol{b}^T \boldsymbol{y} \Rightarrow \text{Minimum} \\ &\boldsymbol{A}\,\boldsymbol{x} \leqq \boldsymbol{b} && \boldsymbol{A}^T \boldsymbol{y} \geqq \boldsymbol{c} \\ &\boldsymbol{x} \geqq \boldsymbol{0} && \boldsymbol{y} \geqq \boldsymbol{0} \\ &\boldsymbol{b} \geqq \boldsymbol{0} \qquad (14) && \boldsymbol{c} \geqq \boldsymbol{0}. \qquad (15) \end{aligned}$$

Die unterschiedlichen Forderungen an Zielfunktionskoeffizienten sowie rechte Seite der Nebenbedingungen (Begrenzungsvektor) lassen die gute Eignung des dualen Simplexalgorithmus zum Berechnen eines zulässigen Leistungsflusses erkennen. Sind beim primalen Simplexalgorithmus sämtliche $b_l \geqq 0$ $(l = 1, \ldots, m)$ gefordert und c_k beliebig $(k = 1, \ldots, n + m)$, so werden beim dualen Verfahren alle $c_k \geqq 0$ gefordert und b_l beliebig. Der Abbruch des primalen Algorithmus erfolgt, wenn alle $c_k \geqq 0$ sind. Der duale Algorithmus endet, wenn alle $b_l \geqq 0$ sind. Da ein zulässiger Leistungsfluß dadurch charakterisiert ist, daß keine der in Nebenbedingungen formulierten Restriktionen verletzt sind $(b_l \geqq 0)$, bedeutet eine optimale Lösung eines dualen Optimierungsproblems gleichzeitig einen zulässigen Leistungsfluß.
Die Bedeutung einer solchen Betrachtungsweise wird durch den eingesparten Speicherplatz gegenüber dem primalen Verfahren (mit Hilfsproblem) unterstrichen. Für ein Testnetz mit 15 Knotenpunkten, 12 Leitungen und 7 Regeltransformatoren beträgt der Speicherplatz des linearen Hilfsproblems 191 % gegenüber dem Speicherplatz der dualen Aufgabe.

1.4.3. Anzahl der beherrschbaren Störungen

Die geforderte hohe Zuverlässigkeit des elektrischen Regimes läßt sich nur erreichen, indem eine möglichst große Anzahl von Störungen beherrscht wird. Soll dies präventiv geschehen, ist ein solches Regime zu berechnen, welches den häufigsten Grenzwertverletzungen infolge Störungen entgegenwirkt. Solche Verletzungen sind das

— Überschreiten des maximal zulässigen Stromes von Übertragungselementen
— Unterschreiten der minimal zulässigen Spannung an Abnahmeknotenpunkten
— Überschreiten der maximal zulässigen Spannung an Einspeiseknotenpunkten.

Das Vermeiden dieser Verletzungen kann durch eine möglichst große Differenz der gefährdeten Größen zu ihren Grenzwerten im Normalregime erreicht werden. Damit ergibt sich folgender Zielfunktionsterm:

$$\sum_m K_{Ikl}\left(3\,I^2_{\max kl} - 3\,I^2_{kl}\right) + \sum_{i=1}^{n_A} K_{Ui}\,(U_i - U_{\min i}) + \sum_{j=1}^{n_E} K_{Uj}\,(U_{\max j} - U_j) \Rightarrow \text{Max.} \tag{16}$$

Den Faktoren K_I und K_U kommt eine besondere Bedeutung zu, da von deren Wahl die Anzahl der beherrschbaren Störungen abhängig ist. Mit einer TAYLOR-Reihenentwicklung bis zum linearen Glied wird die zur Linearoptimierung notwendige Form erhalten.

1.4.4. Netzreserve

Die Berechnung der maximalen Netzreserve hat die Ermittlung eines Bereiches der Abnahmeleistungen zum Ziel, in dem die Abnahmen variieren können, ohne daß die Lösung unzulässig wird. Dieser Term hat insofern große Bedeutung, daß die verwendeten (vorhergesagten) Primärdaten, insbesondere Belastungen, mit Ungewißheiten behaftet sind.
Ein solcher Zielfunktionsterm kann, ausgehend von der KP-Bilanzgleichung der Leistung, folgendermaßen dargestellt werden:

$$\mathrm{d}P_A = \sum_{k=1}^{n} (-P_{Ek} - P_{Ak} + P_k) \Rightarrow \text{Max.} \tag{17}$$

$$\mathrm{d}Q_A = \sum_{k=1}^{n} (-Q_{Ek} - Q_{Ak} + Q_k) \Rightarrow \text{Max.} \tag{18}$$

Der nichtlineare Charakter der Gln. (17) und (18) machen ebenfalls eine Linearisierung mittels TAYLOR-Reihenentwicklung bis zum linearen Glied notwendig.

1.4.5. Netzverluste

Die Wirkleistungsverluste eines Netzes berechnen sich aus

$$P_V = \sum_{k=1}^{n} \sum_{l} (U_k^2 Y_{kl} \cos \delta_{kl}\, \tilde{u}_{kl}^2 - U_k U_l Y_{kl} \tilde{u}_{kl} \cos(\Theta_k - \Theta_l + \delta_{kl} + \lambda_{kl}) \tag{19}$$

$$\tilde{u}_{kl} \begin{cases} 1, & \text{wenn Seite } l \text{ geregelt} \\ \ddot{u}_{kl}, & \text{wenn Seite } k \text{ geregelt.} \end{cases}$$

Der Zielfunktionswert zur Minimierung der Netzverluste ergibt sich aus der TAYLOR-Reihenentwicklung von Gl. (19) bis zum linearen Glied sowie der multiplikativen Einbeziehung der spezifischen Verlustkosten K_V.

1.4.6. Gestehungskosten der Wirkleistung

Da die Kostenfunktionen zur Gestehung der Wirkleistung an jedem Knotenpunkt mit variablen Einspeisungen

$$K_{Gk} = \mathrm{f}(P_{Ek}) \tag{20}$$

analytisch nicht darstellbar ist, wird diese durch ein Polynom dritten Grades approximiert. Damit ergibt sich

$$K_{Gk} = K_{0k} + K_{1k} P_{Ek} + K_{2k} P_{Ek}^2 + K_{3k} P_{Ek}^3. \tag{21}$$

Die zur Linearoptimierung notwendige Form wird auch hier durch eine TAYLOR-Reihenentwicklung bis zum linearen Glied erhalten.

1. 5. Darstellung der Nebenbedingungen

Analog zu den Zielfunktionstermen werden sämtliche Nebenbedingungen in eine TAYLOR-Reihe bis zum linearen Glied entwickelt. Die Gln. (2) und (3) enthalten für die Maximierung der Netzreserve einen zusätzlichen Term, der die Netzreserve auf die Knotenpunkte aufteilt.

$$P_{Ek} + P_{Ak} + \beta_k \mathrm{d}P_A - P_k = 0 \qquad k = 1, \ldots n \tag{22}$$

$$Q_{Ek} + Q_{Ak} + \gamma_k \mathrm{d}Q_A - Q_k = 0 \qquad k = 1, \ldots n. \tag{23}$$

Die Gln. (4) bis (7), die von den in die Knotenpunkte einspeisenden Kraftwerksblöcken abhängig sind, repräsentieren das Generatordiagramm.
Die Spannungsrestriktionen ergeben sich zum einen aus Qualitätsgründen (Gl. (8)) und zum anderen aus Isolationsgründen (Gl. (9)). Die Nebenbedingungen für die Reglerstufungen regelbarer Transformatoren (Gln. (10) und (11)) werden vom Stufenschaltwerk begrenzt. Zur Linearisierung der Strom-Nebenbedingungen (Gl. (12)) ist es notwendig, die funktionale Abhängigkeit zu den Optimierungsvariablen herzustellen. Diese ergibt sich, ausgehend von der Wirk- und Blindleistung am Ausgang oder Ende der π-Ersatzschaltung einer Knotenpunktverbindung, zu:

$$I_{kl} = \sqrt{\frac{P_{kl}^2 + Q_{kl}^2}{3\,U_k^2}}. \tag{24}$$

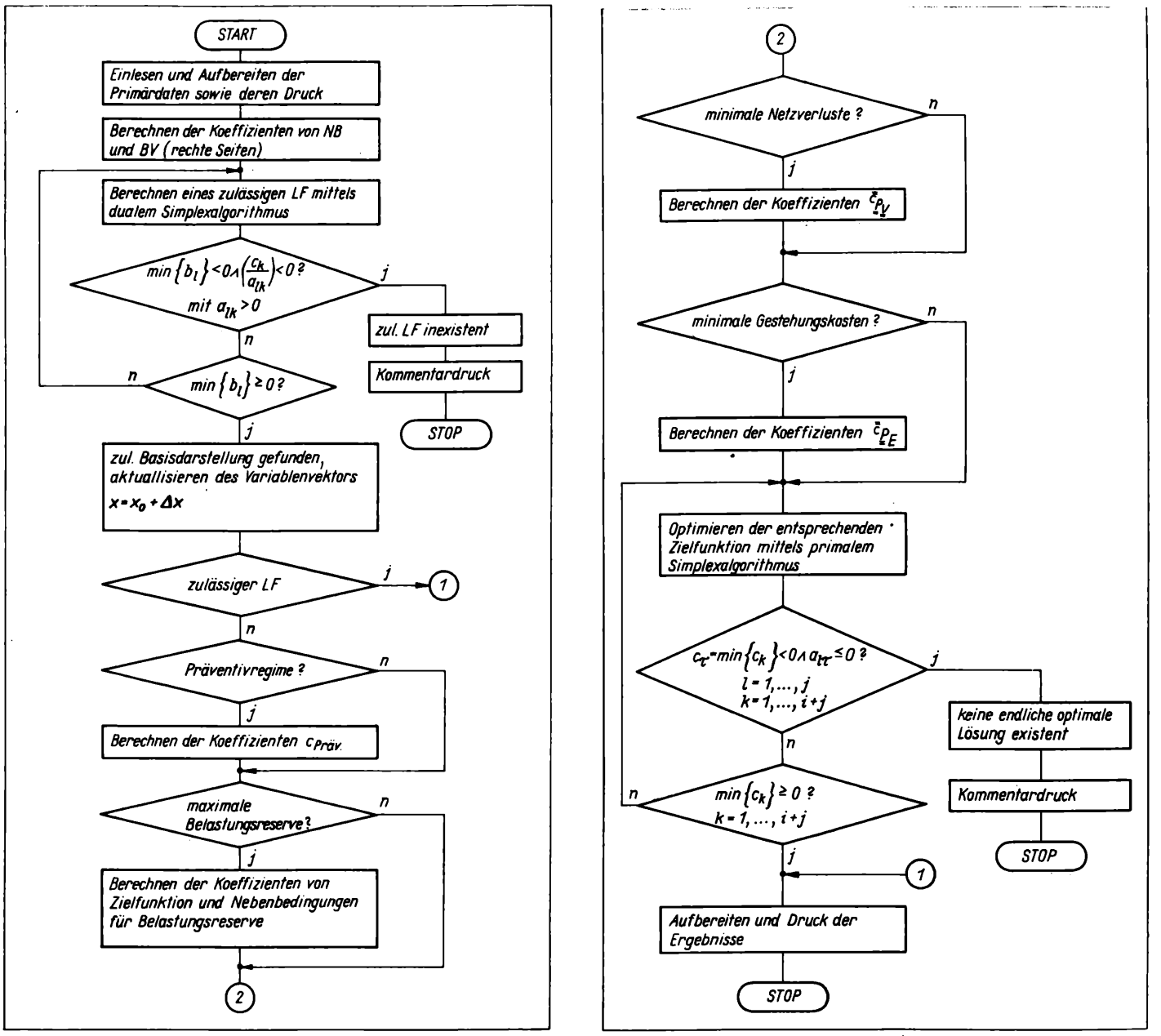


Bild 1. Übersichts-Programmablaufplan

2. Digitales Rechenprogramm

Das im Abschn. 1. beschriebene lineare mathematische Modell zur zuverlässigkeitsorientierten Netzregimeoptimierung ist im Programm ZUNOP rechentechnisch realisiert. Dieses besteht aus einem Rahmenprogramm und 16 Unterprogrammen, die in der problemorientierten Programmiersprache FORTRAN erstellt wurden, und ist für die Rechenanlage EC 1022 konzipiert.
Vom Rahmenprogramm wird das Eingabeprogramm aufgerufen, von welchem alle benötigten Primärdaten eingelesen und gedruckt werden. Anschließend erfolgt die Berechnung des Simplextableaus aus den Startwerten. Eine Prüfung auf Zuverlässigkeit des Startvektors entscheidet, ob ein zulässiger Leistungsfluß ermittelt werden muß oder eine vorgegebene Zielfunktion optimiert wird. Nach Ermittlung der optimalen Lösung wird das Ausgabeprogramm angesteuert, das für den Druck aller interessierenden Ergebnisse sorgt. Bild 1 gibt eine Übersicht über den Programmablauf.

3. Programmerprobung

Die durchgeführten Testrechnungen hatten zum Ziel, Aussagen über

— den Gültigkeitsbereich des linearen Modells,
— die erforderliche Rechenzeit und
— den notwendigen Speicherplatzbedarf

zu erhalten.

Dazu kamen zwei unterschiedliche Testnetze der Spannungsebene $U_N = 220$ kV bzw. $U_N = 380$ kV zum Einsatz.
Die durchgeführten Optimierungsrechnungen umfaßten hierzu

— die Suche eines zulässigen Arbeitspunktes
— Topologieänderungen und
— Leistungsbilanzänderungen.

Vergleichsrechnungen mit einem Programm zur komplexen Leistungsflußberechnung sowie zur nichtlinearen Optimierung ergaben, daß die Genauigkeit der Ergebnisse des linearen Modells für praktische Berechnungen als völlig ausreichend eingeschätzt werden können. Die dafür notwendige Rechenzeit beträgt gegenüber dem nichtlinearen Optimierungsprogramm nur noch etwa 15%.
Die Ergebnisse entsprechen auch in ihren physikalischen Aussagen voll den Erwartungen. Die Ermittlung eines zulässigen Leistungsflusses führt zu einem zulässigen, nicht notwendig optimalen Betriebsregime. Die Optimierung der Anzahl beherrschbarer Störungen läßt ein hohes Spannungsniveau erkennen, ohne daß an den Einspeise-Knotenpunkten die Isolationsspannung erreicht wird. Die Simulation ausgewählter Störungen, die mit einem Programm zur komplexen Leistungsflußberechnung durchgeführt wurden, bestätigte den präventiven Charakter gegenüber dem zulässigen, nicht notwendig optimalen Betriebsregime. Die Maximierung der Netzreserve kennzeichnet ebenfalls ein hohes Spannungsniveau, allerdings mit Maximalspannung an den Einspeise-Knotenpunkten und hoher Auslastung der Übertragungselemente.

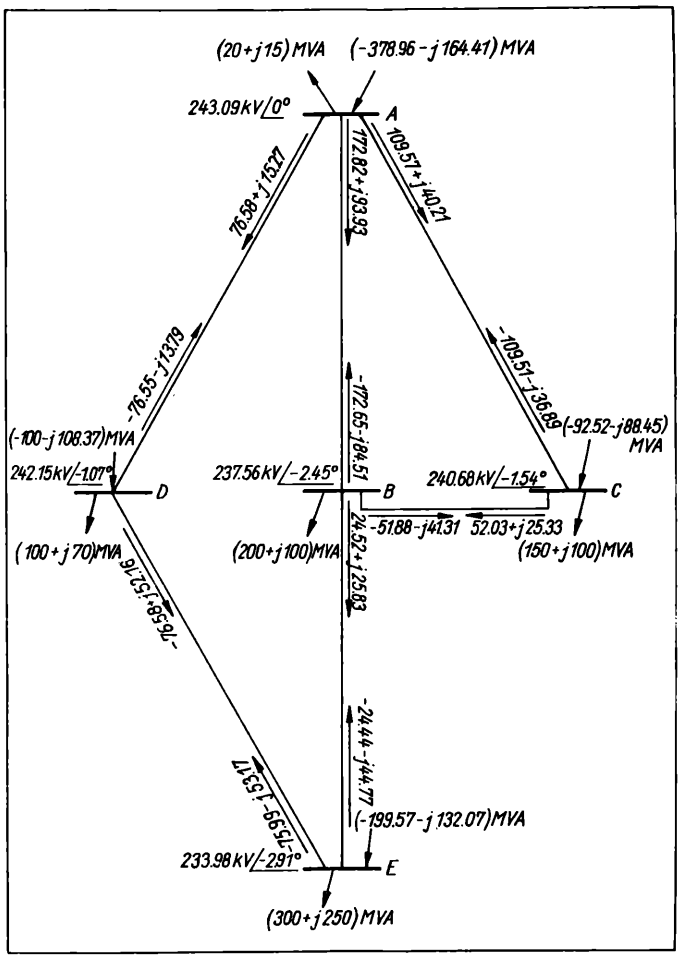


Bild 2. Testnetz U_N = 220 kV mit verlustminimaler Lösung

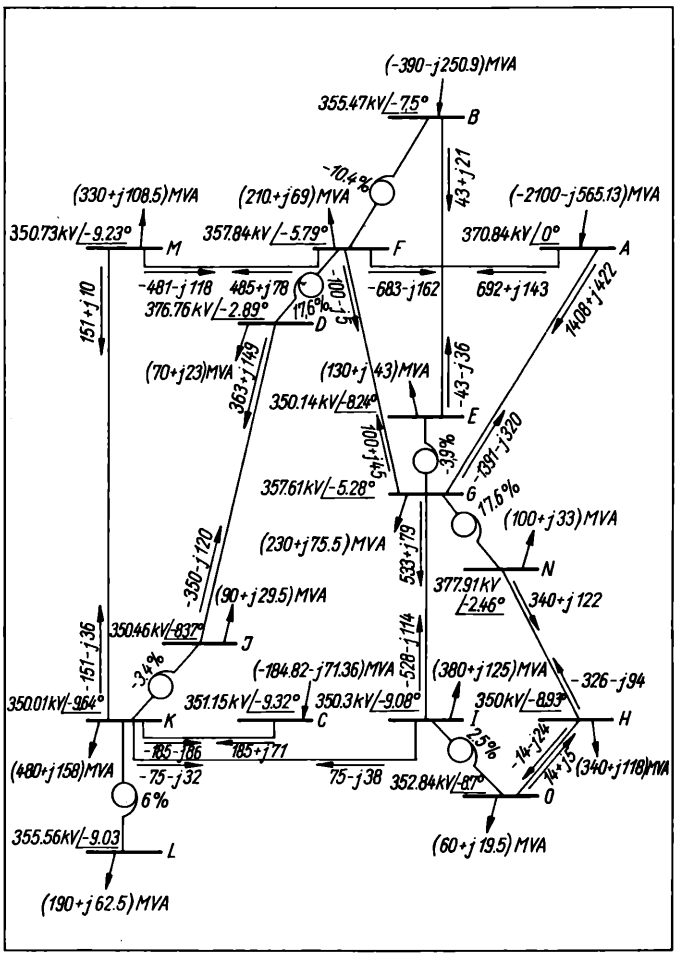


Bild 3. Testnetz U_N = 380 kV mit kostenminimaler Lösung hinsichtlich der Gestehungskosten

Die Bestimmung der verlustminimalen Lösung ist durch ein hohes Spannungsniveau und geringe Winkeldifferenzen gekennzeichnet, was aus Bild 2 hervorgeht. Im Gegensatz dazu führt die Minimierung der Wirkleistungserzeugung zu relativ niedrigen Spannungen, wodurch eine Reduzierung der Wirkleistung aller spannungsabhängigen Abnahmen erreicht wird. Eine derartige Lösung spiegelt Bild 3 wider.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Die Schaffung eines linearen Optimierungsmodells zur Optimierung von Übertragungsnetzen ist nur durch die Linearisierung des an sich nichtlinearen Modells möglich.

Zur Ermittlung eines zulässigen Leistungsflusses ist dem dualen Simplexalgorithmus auf Grund des bedeutend geringen Speicherplatzbedarfes der Vorzug zu geben. Im Gegensatz dazu eignet sich zur Optimierung vorgegebener Zielfunktionen der primale Simplexalgorithmus besser.

Die Rechenzeit ist gegenüber nichtlinearer Verfahren bedeutend gesenkt, stellt aber mit Sicherheit noch nicht das Minimum dar. Der Speicherplatzbedarf des Programms ZUNOP ist lediglich geringfügig gesenkt, da der größte Bedarf von den Zielfunktions- und Nebenbedingungs-Koeffizienten benötigt wird.

Das entwickelte Modell ist sowohl für die lang- als auch kurzfristige Optimierung möglich, aber auch auf Grund der bisher erreichten Rechenzeiteinsparung bei Beachtung spezieller Forderungen (z. B. Ergänzung der korrektiven Störungsbehandlung) für den on-line-Einsatz denkbar.

Daher sollte die Weiterentwicklung des mathematischen Modells auf folgende Schwerpunkte konzentriert werden:

1) Dekomposition des Modells zur Speicherplatzreduzierung,
2) Einsatz von Parallel-Prozessoren zur gleichzeitigen Berechnung der durch Dekomposition entstandenen unabhängigen Unterprobleme,
3) Änderung der Zielfunktion für den On-line-Einsatz des dekomponierten linearen Modells.

Literatur

[1] *Schaller, D.:* Maschinelle Berechnung und Optimierung von Elektroenergiesystemen. 2. Lehrbrief: Optimierung von Elektroenergiesystemen. Berlin: VEB Verlag Technik 1978

[2] *Hartkopf, T.:* Die Anwendung der Gradientenmethode bei der Berechnung optimaler Lastflüsse. Diss. A, TH Darmstadt 1978

[3] *Edwin, K. W.; Wagner, G.:* Ein lineares Optimierungsmodell zur Lastflußsteuerung in Hochspannungsnetzen. etz Archiv 2 (1980), 5, S. 149—153

[4] *Natesan, T. R.:* Rapid simplex algorithm for power system optimization problems. IE (I) Journal-EL 60 (1980) EL 5, S. 244—246

[5] *Wagner, G.:* Lastflußsteuerung bei unzulässigen Betriebszuständen in Hochspannungsnetzen. Diss. A, TH Aachen 1978

[6] *Rausendorf, S.:* Ein lineares Modell zum Berechnen eines zulässigen Leistungsflusses. ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 1, S. 30—32

EA 5545

Haben Sie Interesse, eine Tätigkeit in unserem Verlag aufzunehmen?

Wir bieten einem

Diplomingenieur der Elektrotechnik

möglichst mit Berufserfahrung auf dem Gebiet der Starkstromtechnik, eine vielseitige, interessante Arbeitsmöglichkeit als Redakteur in der Redaktion unserer Fachzeitschrift ELEKTRIE.

Wenn Sie diese Aufgabe reizt, wenden Sie sich bitte direkt an den

VEB Verlag Technik — Abteilung Elektrotechnik
1020 Berlin — Tel. 2870330
Oranienburger Straße 13/14 — 2870345

Zur Materialökonomie bei elektrischen Maschinen

H. Biesenack; U. Andrae; R. Neundorf; Ilmenau

Die Durchsetzung einer hohen Materialökonomie ist auch eine Anforderung an den Elektromaschinenbau der DDR. In [1] wurde gezeigt, daß bereits geringe Einsparungen an Material aufgrund der weiten Verbreitung elektrischer Maschinen in der Volkswirtschaft bei weiter steigenden Produktionszahlen beachtliche volkswirtschaftliche Effekte ermöglichen. Da materialökonomische Lösungen für elektrische Maschinen nur effektiv für den jeweiligen konkreten Maschinentyp durchzusetzen sind, sollen am Beispiel von Hochspannungs-Asynchronmotoren die mögliche Vorgehensweise und erreichbare Effekte aufgezeigt werden, wobei auf mechanische Probleme nicht eingegangen wird.

Lösungsweg

Drehstrom-Hochspannungs-Asynchronmotoren im Leistungsbereich mehrerer Hundert kW werden zur Zeit durchzugsbelüftet hergestellt. Ohne besondere Maßnahme, wie Luft-Luft oder Luft-Wasser-Wärmetauscher (Aufsatzkühler), sind diese Motoren nur mit einem Schutzgrad von IP 22 oder IP 23 zu betreiben. Damit sind dem universellen Einsatz solcher Maschinen Grenzen gesetzt. Außerdem erhöht sich der Fertigungsaufwand sowie die Produktionsvielfalt, wenn zur Erreichung eines hohen Schutzgrades (IP 44 und mehr) zusätzliche Bauteile erforderlich sind.
Das Masse-Leistungs-Verhältnis ist dementsprechend bei IP 44-Motoren größer als bei IP 22-Motoren.
Wird zur Reduzierung der Produktionsvielfalt und zum universellen Einsatz der Maschinen der Schutzgrad IP 44 vorgesehen und hierbei eine materialökonomische Variante angestrebt, so besteht die Lösung im Übergang zur Oberflächenkühlung, wodurch die materialintensiven Aufsatzkühler entfallen. Der Effekt der Materialökonomie kann durch eine gehäuselose bzw. gehäusereduzierte Ausführung der Maschine noch erhöht werden.
Die Einführung der Oberflächenkühlung setzt aber die Lösung entscheidender Probleme voraus.
Wesentlich dabei ist die Tatsache, daß die gesamte durch alle Verluste entstandene Wärmemenge über die Oberfläche der Maschine an das Kühlmittel abgegeben wird, wobei die Lagerschilde als mechanische Trägerelemente und zur Wärmeabgabe dienen. Weiterhin sind folgende Sachverhalte ausschlaggebend und daher zu bearbeiten:

- Ein geschlossener Innenluftraum muß die Kühlung der Wicklungsköpfe über die Lagerschilde realisieren.
- Die Verwirbelung der Innenluft erfolgt nur über die Rotation der Kurzschlußringe. Der Einsatz zusätzlicher Wirbler bzw. eines Innenlüfters ist zu untersuchen.
- Es existieren lange Wärmeleitungswege im Eisen zur gekühlten Oberfläche.
- Realisierung einer vergrößerten Wärmeabgabefläche durch günstige Rippung der Lagerschilde innen und außen sowie des Ständerblechpaketes.
- Gestaltung des Gebietes Lagerschildaußenrippung und Blechpaketrippung, wobei eine Abdeckhaube zur Luftführung und als Lärmschutz bzw. Klimaschutz dienen könnte.
- Einhaltung der zulässigen Wärmebeständigkeitsklasse
- Veränderte elektromagnetische Auslegung insbesondere zur Verlustreduzierung.

Die Lösung der angegebenen Teilprobleme in Form eines geschlossenen mathematischen Algorithmus ist aufgrund der komplizierten Geometrie einer elektrischen Maschine nicht möglich. Der Weg führt sinnvoll nur über die mathematische Lösung von Teilaufgaben und umfangreiche experimentelle Untersuchungen. Da der gesamte Mechanismus der Wärmeübertragung von einem Festkörper (z. B. Blechpaket, Gehäuse, Wicklungskopf) zum Kühlmedium wesentlich vom Charakter der Strömung abhängt, ist die Kenntnis der Strömungsverhältnisse in charakteristischen Abschnitten der elektrischen Maschine notwendig. Die hierzu erforderlichen umfangreichen Messungen verlangen sowohl eine sinnvolle Auswahl von Maschinen und einen entsprechenden Aufbau von Modellen wie auch einen sicheren Umgang mit der entsprechenden Meßtechnik. Auf in diesem Zusammenhang auftretende Probleme wird in einem gesonderten Artikel eingegangen.
Die Notwendigkeit einer teilweisen mathematischen Formulierung der Zusammenhänge ergibt sich aus dem Umstand, daß insbesondere bei Maschinen großer Leistung Messungen an Versuchsmustern aus ökonomischen Gründen nicht möglich sind.
Daraus folgt, daß thermische Vorausberechnungen möglich sein müssen. Die hierzu notwendigen Parameter erhält man häufig über kriterielle Gleichungen, in denen die Grundbeziehungen des Wärmeübergangs durch die funktionalen Abhängigkeiten zwischen charakteristischen Kennzahlen dargestellt werden (Nußeltzahl Nu, Reynoldzahl *Re*, Wärmeübergangszahl α, $Re \sim Nu \sim \alpha$). Die konkreten Werte der in diesen Gleichungen enthaltenen Beiwerte und Exponenten müssen meßtechnisch bestimmt werden.
Im Ergebnis derartiger umfangreicher theoretischer und meßtechnischer Untersuchungen läßt sich u. a. folgende Aussage formulieren:

- Eine Vergrößerung der Wärmeübergangszahlen des Innenkühlkreislaufes macht sich stärker auf die Kühlung der Wicklung bemerkbar als eine Erhöhung der α-Zahlen an den Außenflächen.
- Eine günstige Temperaturverteilung ergibt sich dann, wenn über die Lagerschilde jeweils 30% der Gesamtverluste abgegeben werden können.

Aus diesen Aussagen folgt u. a. die große Bedeutung einer entsprechenden konstruktiven Gestaltung der Lagerschilde. Auf diese Problematik wird in einem weiteren Artikel eingegangen. Ebenso wie auf Probleme bei der Vorausbestimmung des Verhaltens neuer Maschinen bei Drehzahlstellung mit Hilfe leistungselektronischer Bauelemente.

Effekte

Für die Formulierung der erreichbaren Effekte ist die eindeutige Angabe der Bezugsbasis entscheidend. Unter Bezugnahme auf das Masse-Leistungs-Verhältnis ergeben sich folgende Einsparungen:

gleiche Achshöhe	2,3 kg/kW
gleiche Blechaußendurchmesser	1,6 kg/kW.

Bei Beachtung des Leistungsbereiches für die hier zur Diskussion stehenden Maschinen von 200 kW ··· 1000 kW ergeben sich somit beachtliche Materialeinsparungen.

Zusammenfassung

Aufgrund der weiten Verbreitung elektrischer Maschinen in der Volkswirtschaft bringen Materialeinsparungen, wie am Beispiel von Hochspannungs-Asynchronmaschinen gezeigt, beachtliche Effekte. Zum internationalen Wissenschaftlichen Kolloquium der TH Ilmenau 1986 wird konkret über erreichte Ergebnisse informiert.

Dr. sc. techn. *Hartmut Biesenack* ist Dozent an der Sektion Elektrotechnik, Wissenschaftsbereich Elektromechanik und Technologie, der TH Ilmenau. Dipl.-Ing. *Uwe Andrae* und Dipl.-Ing. *Roland Neundorf* sind wissenschaftliche Assistenten im Wissenschaftsbereich Elektromechanik und Technologie der TH Ilmenau.

Literatur

[1] *Andrae, U.; Biesenack, H.; Neundorf, R.;* u. a.: Einsatz der Oberflächenkühlung bei Hochspannungs-Asynchronmotoren. Vortrag IWK der TH Ilmenau 1983

EA 5636

Kohlebürsten für Gleichstrom-Mikromotoren mit Hohlläufer

Th. Berger, KDT, Dresden

Gleichstrom-Mikromotoren mit Hohlläufer sind unter anderem gekennzeichnet durch ein sehr geringes Läuferträgheitsmoment, eine geringe Läufermasse und eine extrem kleine Induktivität der Läuferwicklung. Daraus resultieren als Vorteile beim Einsatz dieser Motoren gegenüber konventionellen Motoren mit genutetem Läufer bessere Dynamik, bessere Stellbarkeit, besseres Anlaufverhalten, höhere Lebensdauer und höherer Wirkungsgrad [1] [2]. Um diese Vorteile zur Geltung zu bringen, müssen an die Kohlebürsten besondere Forderungen gestellt werden.
In dem vorliegenden Artikel wird über Erfahrungen bei der Entwicklung derartiger Motoren im VEB Kombinat Elektromaschinenbau und der gleichzeitigen Kohlebürstenentwicklung im VEB Elektrokohle Lichtenberg berichtet.

1. Motorspezifische Forderungen an die Kohlebürste

Die geringe Läufermasse von Motoren mit Hohlläufer bildet im Zusammenhang mit der dadurch bedingten geringen Lagerreibung eine Voraussetzung für das gute Anlaufverhalten. Eine geringe Anlaufspannung ergibt sich jedoch nur, wenn außerdem die Kontaktspannung zwischen Bürste und Kommutator genügend klein ist.
Es ist deshalb üblich, derartige Motoren mit Metallschleifbürsten in Form von auf dem Kommutator schleifenden Edelmetalldrähten auszurüsten. Obwohl die durch die extrem kleine Induktivität der Läuferwicklung bedingte geringe Kommutierungs-Schaltleistung günstige Voraussetzungen für einen solchen Metall-Metall-Gleitkontakt schafft, ist die Standzeit des Kontaktsystems in starkem Maße von der Belastung abhängig.
Eine Lebensdauer von mehr als 1000 Betriebsstunden läßt sich nur erreichen, wenn derartige Motoren thermisch nicht ausgelastet werden. Seit einigen Jahren ist deshalb international der Trend zu verzeichnen, daß die „Kraftpakete" der Hohlläufermotoren mit Kohlebürsten bestückt werden. Das Kontaktsystem weist dann auch bei thermischer Auslastung der Motoren eine Standzeit von vielen Tausend Stunden auf. Dabei muß in Kauf genommen werden, daß die Anlaufspannung höher ist als bei Metallschleifbürsten. Aus den Einsatzbedingungen der Gleichstrom-Mikromotoren mit Hohlläufer als hochwertige Präzisionsmotoren im Gerätebau lassen sich folgende Forderungen an die Kohlebürste ableiten:

— Zur Minimierung der Anlaufspannung und der Erwärmung des Kontaktsystems sowie zur Erzielung eines hohen Wirkungsgrades müssen Kontaktspannung und Reibung möglichst klein sein.
— Die Motoren sind nicht zur Wartung und Reparatur vorgesehen. Ein Bürstenwechsel ist damit nicht möglich. Bürstenlänge und -verschleiß sind so aufeinander abzustimmen, daß eine Standzeit des Kontaktsystems von mehreren Tausend Stunden erreicht wird. Die Bürsten sollen dabei nicht über den Gehäusemantel vorstehen. Diese Forderung ist nur für Hohlläufermotoren mit ihrer geringen Kommutierungsschaltleistung realisierbar.
— Die Bürstenstromdichte schwankt mit Rücksicht auf unterschiedliche Belastung und unterschiedliche Spannungsvarianten in weiten Grenzen. Der Maximalwert muß mit Rücksicht auf die Minimierung der Abmessungen genügend hoch sein. Andererseits werden gute Laufeigenschaften auch bei Teillast gefordert. Für alle Spannungsvarianten sollte dieselbe Bürstenmarke eingesetzt werden können.
— Die Geräuschabstrahlung des Motors wird dominierend durch das Laufgeräusch der Bürsten auf dem Kommutator bestimmt. Die konstruktive Gestaltung und die Materialzusammensetzung der Bürsten müssen deshalb bezüglich minimaler Geräuschentwicklung optimiert werden.

Dr.-Ing. *Theodor Berger* ist Mitarbeiter für Forschung und Entwicklung im VEB Kombinat Elektromaschinenbau Dresden.

Bild 1
Abhängigkeit wichtiger Betriebsparameter von der Bürstenzusammensetzung

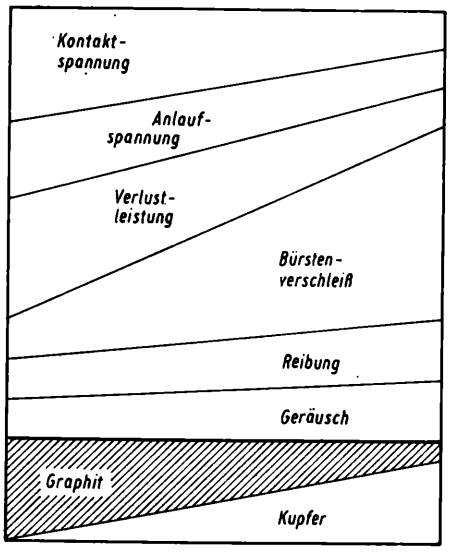
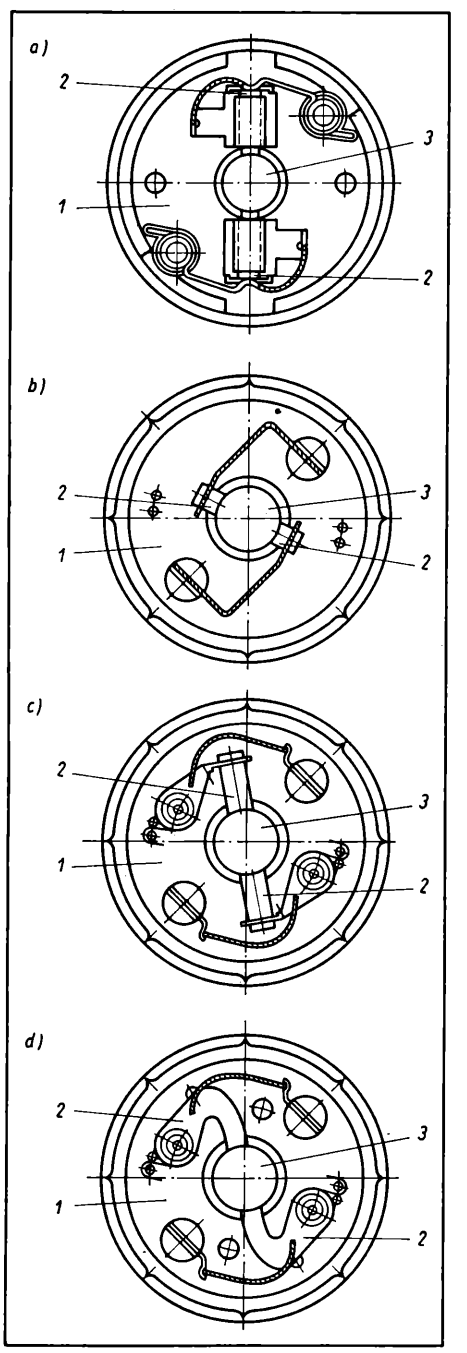


Bild 2
Konstruktive Bürstenvarianten
a Blockbürste im Kastenbürstenhalter
b Federblockbürste
c Schenkelbürste
d Hebelbürste
1 Bürstenträger
2 Bürste
3 Kommutator



Parameter / konstruktive Ausführung	erforderlicher Bürstendruck	Bürstenreibung	Bürstenstandzeit	Wirkungsgrad	Anlaufspannung	Geräuschpegel
Blockbürste im Kastenbürstenhalter	o	o	o	o	o	o
Federblockbürste	—	—	—	—	—	—
Schenkelbürste	+	+	+	+	+	—
Hebelbürste	+	+	+	+	+	+

Bild 3. Vor- und Nachteile der verschiedenen konstruktiven Ausführungen
0 mittlere Eigenschaften des entsprechenden Parameters = Bezugswert
\+ bessere Eigenschaften als der Bezugswert
— schlechtere Eigenschaften als der Bezugswert

— Trotz der relativ kleinen Motorleistungen unter 10 W ergeben sich für die vorgesehenen Nennspannungen von 6 bis 24 V relativ hohe Nennströme bis zu 1,5 A. Zur Vermeidung von zu hohen Übergangsspannungen und den damit verbundenen zusätzlichen Verlusten ist grundsätzlich eine mit Seil armierte Bürste erforderlich.

2. Bürstenmaterial

Die im Abschnitt 1 genannten Forderungen lassen sich mit Kupfer-Graphit-Bürsten erfüllen, wobei der Kupferanteil zu optimieren ist. Während geringe Kontaktspannung, Anlaufspannung und Verlustleistung einen möglichst hohen Kupferanteil verlangen, steigen Bürstenverschleiß, Reibung und Geräuschpegel mit steigendem Kupferanteil an. Diese Zusammenhänge sind qualitativ im Bild 1 dargestellt. Genauere Ausführungen zu dieser Problematik erfolgen in [3].
Experimentelle Untersuchungen haben ergeben, daß für Gleichstrom-Mikromotoren mit Hohlläufer ein Kupferanteil von 50% optimal ist. Dieses Bürstenmaterial wird unter der Markenbezeichnung M 3 vom VEB Elektrokohle Lichtenberg hergestellt [4].

3. Konstruktive Varianten

Bild 2 zeigt einen Überblick möglicher konstruktiver Bürstenvarianten. In allen Fällen sind Bürsten und Bürstenhalter vollständig innerhalb des Gehäusemantels untergebracht. Im folgenden soll auf die Vor- und Nachteile der einzelnen Varianten eingegangen werden.

3.1. Blockbürste im Kastenbürstenhalter

Diese konventionelle Anordnung erfordert einen relativ hohen Bürstendruck, um ein sicheres Nachrutschen der Bürste im Bürstenhalter über eine längere Betriebsdauer zu erreichen. Damit ist die Bürstenreibung ebenfalls hoch, so daß der Wirkungsgrad und die Anlaufspannung des Motors ungünstig beeinflußt werden. Nach längerer Betriebsdauer ist ein Verklemmen der Bürste im Bürstenhalter durch Bürstenabrieb nicht auszuschließen. Diese Anordnung ist deshalb vorrangig für Motoren mit von außen zugänglichen Bürsten bzw. für zu wartende Motoren geeignet, bei denen außerdem der Wirkungsgrad und die Anlaufspannung untergeordnete Bedeutung haben.

3.2. Federblockbürste

Die Gefahr des Verklemmens wird bei dieser Lösung ausgeschaltet, bei der eine Blockbürste in einem Streifen aus Federbronze eingeklemmt oder eingeklebt ist, der mit dem anderen Ende im Bürstenträger befestigt ist. Damit wird eine sichere Kontaktgabe bei geringerem Bürstendruck gewährleistet. Die Federkennlinie dieser Anordnung ist jedoch sehr steil, so daß zum Erzielen einer akzeptablen Verschleißlänge der Anfangs-Bürstendruck noch höher als bei der Blockbürste im Kastenbürstenhalter gewählt werden muß, wodurch sich die dafür genannten Nachteile vergrößern. Außerdem wird der Bürstenverschleiß erhöht. Die durch Reibung hervorgerufenen Bürstenschwingungen treten als Geräusch in Erscheinung, das durch die Federbronzestreifen stark abgestrahlt werden kann. Diese Anordnung eignet sich deshalb nur für Motoren mit geringen Anforderungen an die Lebensdauer und an das Geräuschverhalten.

3.3. Schenkelbürste

Die steile Federkennlinie der Federblockbürste läßt sich vermeiden, wenn eine Blockbürste an einem Metallhebel befestigt wird, der auf einem im Bürstenträger angebrachten Zapfen drehbar gelagert ist und von einer Schraubenfeder auf den Kommutator gedrückt wird. Mit dieser Anordnung lassen sich bei geringem Bürstendruck große Verschleißlängen und damit Bürstenstandzeiten erzielen. Nachteilig ist die wie bei der Federblockbürste auftretende starke Geräuschabstrahlung durch den Metallhebel.

3.4. Hebelbürste

Eine deutliche Geräuschabsenkung ergibt sich bei einer zur Schenkelbürste analogen Ausführung, bei der jedoch der gesamte Hebel aus dem Bürstenwerkstoff besteht. Diese Hebelbürste wird ebenfalls mittels einer Schraubenfeder auf den Kommutator gedrückt.
Die Bürstenführung durch Lagerung auf einem Zapfen ist ideal, erfordert geringste Bürstendrücke und gewährleistet eine sichere Kontaktgabe während der gesamten Einsatzdauer ohne die Gefahr des Verklemmens. Die verfügbare Verschleißlänge gewährleistet eine Bürstenstandzeit von vielen Tausend Stunden.
Die Vor- und Nachteile der verschiedenen konstruktiven Ausführungen sind im Bild 3 nochmals gegenübergestellt.

4. Ergebnisse der Optimalvariante

Als Optimalvariante der Kohlebürste für Gleichstrommikromotoren mit Hohlläufer ergibt sich die Hebelbürste der Bürstenmarke M 3, deren Hauptkennwerte in [4] angegeben werden. Diese Bürste hat entscheidenden Anteil an den anerkannt guten Parametern der vom VEB Kombinat Elektromaschinenbau entwickelten und produzierten VEM-Gleichstrom-Mikromotoren, die eine internationale Spitzenleistung auf diesem Gebiet darstellen.
Die Einsatzbedingungen und Erprobungsergebnisse in Motoren dieser Reihe werden im folgenden genannt:

— Bürstendruck im Neuzustand	4 ··· 5 N/cm²
— Nennstromdichte (je nach Motortyp)	6 ··· 30 A/cm²
— Umfangsgeschwindigkeit am Kommutator	etwa 0,7 m/s
— Bürstenverschleiß nach 1000 h	0,2 ··· 0,5 mm
— Verschleißlänge	etwa 3 mm
— Bürstenstandzeit	6000 ··· 15000 h
— Kontaktspannung je Bürste	0,4 ··· 0,7 V
— typische Anlaufspannung der Motoren (je nach Motortyp)	1,5 ··· 2,5 V.

Die erreichten Werte zeigen, daß mit dieser Spezialbürste alle Anforderungen erfüllt werden, die an hochbelastete Gleichstrom-Mikromotoren mit Hohlläufer gestellt werden. Damit wird die Voraussetzung dafür geschaffen, daß mit solchen Motoren bestückte Geräte auch im Dauerbetrieb mit hoher Belastung über lange Zeit störungsfrei arbeiten.

Literatur

[1] *Buchar, W.; Berger, Th.:* Gleichstrom-Mikromotoren für höchste Ansprüche. Elektromaschinenbau der DDR — Technische Mitteilungen 3 (1982) 2, S. 7—11
[2] *Berger, Th.:* Gleichstrom-Mikromotoren mit Hohlläufer. Der Elektro-Praktiker, Berlin 38 (1984) 8, S. 265—267
[3] *Höhne, B.; Joachim, W.; Willnow, U.:* Kohlebürsten für ausgewählte Kleinspannungsmotoren. ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 4, S. 149—151
[4] TGL 17556/08. Hebelbürsten für Gleichstrommikromotoren

EA 5662

Kohlebürsten für ausgewählte Kleinspannungsmotoren

W. Joachim, KDT, Berlin; B. Höhne, Berlin; U. Willnow, KDT, Oranienburg

Mitteilung aus dem Direktionsbereich Forschung des VEB Elektrokohle Lichtenberg

Verwendete Formelzeichen

Cu	Kupfer
C	Kohlenstoff
Ag	Silber
Pb	Blei
U_N	Nennspannung
I_N	Nennstrom
ΔU	Kontaktspannungsabfall

Kohlebürsten sind elektrische Gleitkontakte und dienen in elektrischen Maschinen der Stromübertragung zwischen stehenden und rotierenden Wicklungen.
Auf Kleinspannungsmotoren mit einer Nennspannung $\leqq 24$ V werden in der Regel Metall-Graphit-Bürsten auf der Basis Cu-C und in speziellen Fällen auf der Basis Ag-C verwendet.
Die materialtechnischen Eigenschaften neuentwickelter Metall-Graphit-Bürsten und die Ergebnisse an speziellen Kleinspannungsmotoren werden dargestellt.

1. Kohlebürsten

Kohlebürsten sind elektrische Kontakte und dienen als Bestandteil elektrischer Maschinen der Stromübertragung zwischen rotierenden und stehenden Wicklungen. Sie stellen Verbundwerkstoffe auf der Basis Kohlenstoff verschiedener Modifikation mit bzw. ohne metallische Zusätze von Cu, Ag und Pb dar. Der Herstellungsprozeß entspricht einem keramischen Prozeß. Der entstehende poröse Kohlenstoffkörper durchläuft keine schmelzflüssige Phase. Die Hauptprozeßstufen zur Herstellung von Kohlebürsten sind in Bild 1 dargestellt.
Zur Erzielung bestimmter Eigenschaften, wie Verringerung des Reibwertes, Erhöhung der Verschleißfestigkeit, Verbesserung des Funkstörverhaltens u.a., können in die Kohlebürste entsprechend wirkende Zusätze eingebracht werden.
Wie in der Tafel 1 dargestellt, bestimmen Materialzusammensetzung und thermische Behandlung die Eigenschaften der Kohlebürstenqualitäten sowie deren Einsatzgebiete.
Es werden nachstehende Qualitätsgruppen unterschieden:

Elektrographitbürsten	Kurzzeichen E
Metall-Graphit-Bürsten	Kurzzeichen M
Naturgraphitbürsten	Kurzzeichen G
Kohle-Graphit-Bürsten	Kurzzeichen K

Resultierend aus den sich stark unterscheidenden Qualitätsmerkmalen, ist ein Austausch von Marken verschiedener Qualitätsgruppen in der Regel nicht möglich.

2. Kohlebürsten für Kleinspannungsmotoren

Auf Kleinspannungsmotoren mit $U_N \leqq 24$ V werden vorzugsweise Metall-Graphit-Bürsten auf Cu-C-Basis eingesetzt. In den Fällen, in denen konstante Spannungsverluste zwischen Kohlebürste und Kommutator/Ring erforderlich sind, kommen Ag-C-Bürsten bzw. Elektrographitbürsten zum Einsatz, wenn die höheren elektrischen Verluste maschinenseitig zu kompensieren sind.
Resultierend aus den Stoffeigenschaften, die für Cu und C in der Tafel 2 dargestellt sind, zeichnen sich diese Bürsten insbesondere durch nachstehende Eigenschaften aus:

Wolfgang Joachim ist Gruppenleiter in der Forschung Kohlebürsten, *Bernd Höhne* ist Laborant, *Ulrich Willnow* ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im VEB Elektrokohle Lichtenberg.

Tafel 1. Qualitätsgruppen, Eigenschaftsmerkmale und Hauptanwendungsgebiete von Kohlebürsten (vereinfachte Darstellung)

Qualitätsgruppe	spezif. el. Widerstand ($\mu\,\Omega$m)	Reibwert	Kontaktspannungsabfall (V)	Dauerbelastung (Acm^{-2})	Hauptanwendungsgebiete
Elektrographit	15—70	0,1—0,25	1,5—3,0	12—14	Traktionsmotoren, Traktionsgeneratoren, stationäre Großmaschinen wie Walzmotoren, Fördergeneratoren, Universalmotoren
Metall-Graphit	0,1—15	0,1—0,2	$<1,5$	30	Drehstromasynchronmotoren, Fahrzeugstarter, Wischermotoren für Kfz, Gebläsemotoren für Kfz, Gleichstrommikromotoren
Naturgraphit	100—400	0,1—0,3	2,0—4,0	8—10	kleine Gleichstrommotoren, Drehstromkommutatormotoren
Kohle-Graphit	100—2000	0,2—0,5	2,0—6,0	8—12	Universalmotoren bis 1000 W

Tafel 2. Eigenschaften von Kupfer und Kohlenstoff-Naturgraphit [1]

Materialeigenschaft		Kupfer	Kohlenstoff
Dichte	gcm^{-3}	8,93	2,25
spezif. el. Widerstand	$\mu\,\Omega$cm	0,0163	0,8
Ionisationsspannung	V	7,67	11,24
Wärmeleitfähigkeit	$calcm^{-1}s^{-1}grd^{-1}$	0,94	0,38
lineare thermische Ausdehnung	$10^{-7}\,grd^{-1}$	1,64	28
Schmelzpunkt	°K	1357	4073

Tafel 3. Ergebnisse der Voruntersuchungen mit Kohlebürsten verschiedener Hersteller auf ausgewählten Kleinspannungsmotoren
(Die Marken A, B, C, D sind keine EKL-Erzeugnisse.)

Bürstenmarke	Cu (%)	Asche (%)	Kontaktspannungsabfall (V/Bürste)	Reibwert	Bürstenstandzeit (h) Heizgebläsemotor Typ 1025.1	GMM BG32	Bemerkung
A	25	1,0	1,0	0,15	2900	—	Bei Aschegehalten
B	35	0,5	1,0	0,15	2500	—	$>0,5$ % tritt erhöhter Kommutatorverschleiß ein
M 19	65	2,0	0,5	0,2	1000	—	
M 21	58	2,0	0,9	0,2	900	—	
C	50	0,5	0,8	0,08	—	2000	
D	10	0,5	1,2	0,22	—	2000	Auf GMM mit $U_N \leqq 6$ V nicht einsetzbar

— hohe elektrische Leitfähigkeit; somit geringe elektrische Verluste zwischen Kohlebürste und Rotor
— hohe thermische Leitfähigkeit; somit geringer Wärmestau
— Überlastbarkeit bis etwa 10 I_N
— hohe Materialfestigkeit.

Ungünstig kann sich bei Metall-Graphit-Bürsten mit hohem Metallgehalt die Neigung zum verstärkten elektroerosiven Verhalten auswirken. In der Regel geht dann eine höhere Materialabtragung der Kontaktpartner einher.
In Kleinspannungsmotoren, d.h. in

— Kfz-Startern und Drehstromlichtmaschinen
— Kfz-Hilfsantrieben, wie Gebläse- und Wischermotoren, eisenlose und eisenbehaftete Gleichstrommikromotoren
— Tachogeneratoren

werden vorzugsweise Cu-C-Bürsten mit einem Anteil an Cu bis 80 % eingesetzt.

2.1. Anforderungen an Kohlebürsten für ausgewählte Kleinspannungsmotoren

Im Ergebnis von Untersuchungen an Bürstenqualitäten verschiedener Hersteller, einschließlich der Erprobung derselben auf Kleinspannungsmotoren (siehe hierzu Tafel 3), lassen sich für Gebläsemotoren, Wischermotoren und eisenlose/eisenbehaftete Gleich-

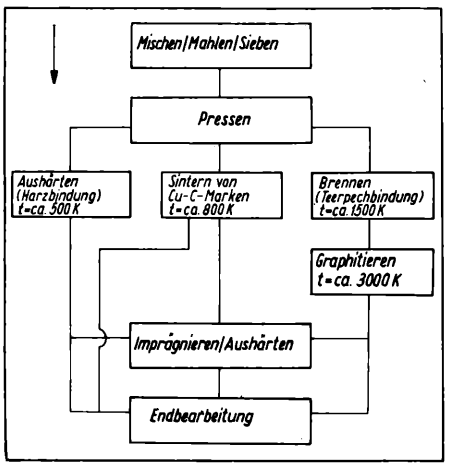


Bild 1. Hauptprozeßstufen zur Herstellung von Kohlebürsten

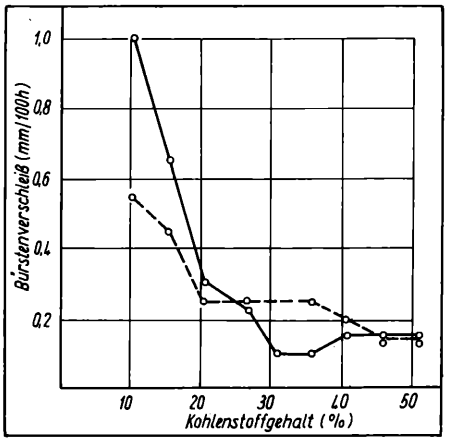


Bild 2. Verschleiß in Abhängigkeit des Kohlenstoffgehaltes in Kupfer-Graphit-Bürsten
Prüfbedingungen:
Gleitgeschwindigkeit 15 ms^{-1}
Prüfstromdichte 12 Acm^{-2}
Bürstendruck 0,025 MPa
——— Preßdruck: 0,1 · 10^3 MPa;
- - - - - Preßdruck: 0,4 · 10^3 MPa

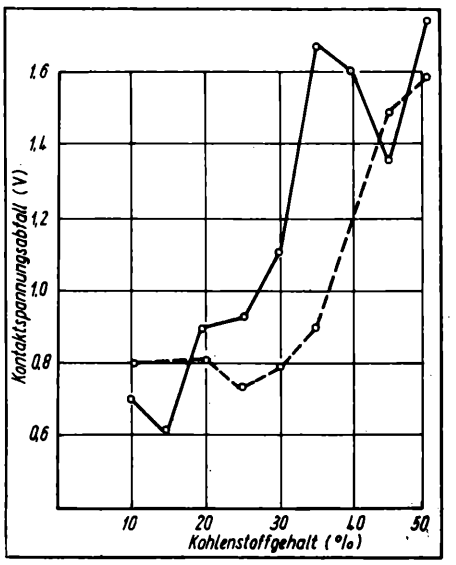


Bild 3. Kontaktspannungsabfall in Abhängigkeit des Kohlenstoffgehaltes in Kupfer-Graphit-Bürsten (Prüfbedingungen entsprechend Bild 2)
——— Preßdruck: 0,1 · 10^3 MPa;
- - - - - Preßdruck: 0,4 · 10^3 MPa

Tafel 4. Hauptkennwerte für die Bürstenmarken M2 und M3

Bürstenmarke	spezif. el. Widerstand ($\mu\,\Omega$m)	Kontaktspannungsabfall (V/Bürste)	Reibwert	Dauerstrombelastung (Acm^{-2})	Cu (%)
M2	7—15	$\leqq 1{,}1$	$\leqq 0{,}2$	12	35
M3	6—12	$\leqq 1{,}1$	$\leqq 0{,}15$	6—30	50

Tafel 5. Ergebnisse der Prüfung von Bürsten der Marken M2 und M3 auf ausgewählten Kleinspannungsmotoren

Motortyp	Bürstenmarke	Cu (%)	Asche (%)	Bürstenverschleiß (mm/1000 h) bei 12 Acm^{-2}	Bürstenverschleiß (mm/1000 h) bei 5,5 Acm^{-2}	maximale Bürstenlebensdauer (h)		Kommutatorverschleiß (mm/1000 h)
Autoheizgebläsemotor Typ 1025.1	M2[1])	35	0,5	1,61	—	4968		0,08
	A[1])	25	1,0	2,35	—	3404	(2000)[2])	0,2
	B[1])	35	0,5	2,6	—	3076		0,1
Gleichstrommikromotor GMM HO5 N	M2[2])	35	0,5	0,23	—	13043		0,1
	M3[2])	50	0,5	0,17	—	17647	(2000)[2])	0,1
	C[2])	50	0,5	0,12	—	25000		0,1
	D[2])	10	0,5	0,23	—	13043		0,1
Gleichmikromotor GMP 24/22	M2[1])	35	0,5	0,57	—	7017	(2000)[2])	0,1
GMP 52/65				1,35	—	5926	(2000)[2])	0,1
MM				—	2,63	1520	(1000)[2])	0,1

[1]) Blockbürste armiert
[2]) Hebelbürste armiert
[3]) angestrebte Mindestlebensdauer

strommikromotoren bezüglich der Bürsten nachstehende Forderungen ableiten:

— Bürstenstandzeit mindestens 500 h, in speziellen Fällen 2000 h
— Bürstenstromdichte $\leqq 30\ Acm^{-2}$
— Kontaktspannungsabfall $\leqq 0{,}75$ V je Bürste
— die Kohlebürste muß mit einer Kupferlitze versehen sein
— zur Realisierung des angestrebten Motorwirkungsgrades sind ggf. spezielle Bürstenausführungen (z. B. Hebelbürste) erforderlich
— Reibwert $\leqq 0{,}2$ zwecks Einhaltung der zulässigen Geräuschpegel
— Kupfergehalt 25 bis 50 %
— Aschegehalt $< 0{,}5$ %.

Cu-C-Bürsten mit einem Cu-Gehalt > 50 % erfüllen insbesondere nicht die Forderung nach Standzeiten > 500 h und neigen, bedingt durch die niedrige Funkenbrennspannung, zu einem erhöhten elektroerosiven Verhalten.

Die aus diesen Untersuchungsergebnissen abgeleiteten Schlußfolgerungen decken sich mit den von *Deynet* [2] und *Strauß* [2] beschriebenen. Darüber hinaus verweisen diese Autoren darauf, daß zur Verringerung des Geräusches und zur Erhöhung der Lebensdauer Hammerbürsten eingesetzt werden. Diese Hammerbürsten werden spielfrei in Bürstenträger eingepreßt, ermöglichen bei konstantem Anpreßdruck eine größere Verschleißlänge und neigen zu geringerer Geräuschbildung, insbesondere resultierend aus der nicht vorhandenen Reibung zwischen Kohlebürsten und Halterwand.

Die Ursache für die Nichterfüllbarkeit der Anforderungen, insbesondere hinsichtlich der Bürstenstandzeit, ist bei hochmetallhaltigen Cu-C-Bürsten vermutlich in deren niedriger Funkenbrennspannung zu suchen. Nach *Weihnert* [3] liegt die Funkenbrennspannung von Cu bei etwa 0,5 V und die metallfreier Kohlebürsten bei etwa 3,6 bis 4,7 V.

Aus Untersuchungen schlußfolgerte er, daß eine Reduzierung des Bürstenverschleißes eine Erhöhung der Funkenbrennspannung voraussetzt, d. h. Verringerung des Cu-Anteiles in der Cu-C-Bürste.

Der Verringerung des Cu-Gehaltes sind jedoch, begründet durch Erhöhung des Eigenwiderstandes und damit Erhöhung des Spannungsabfalls, für Kohlebürsten-Rotor Grenzen gesetzt, da höhere elektrische Verluste des Kontaktsystems motortechnische Kenndaten, wie Drehzahl, Anlaufmoment usw. negativ beeinflussen.

2.2. Ergebnisse der Entwicklung neuer Kohlebürsten für ausgewählte Kleinspannungsmotoren

Unter Beachtung der in Abschn. 2.1. dargestellten Schlußfolgerungen waren Kohlebürsten für die vom VEB Elektromotorenwerk Hartha hergestellten Gleichstrommikromotoren der Reihe GMM mit Hohlläufer der Baugröße 26/32 und dem Autoheizgebläsemotor Typ 1025.1 bei Sicherung der Motorkenndaten zu entwickeln. Den durchzuführenden Voruntersuchungen waren folgende Teilzielstellungen vorgegeben:

- Ableitung technologischer Grundparameter und der erforderlichen Materialzusammenstellung
- Ableitung der erforderlichen Bürsten-/Bürstenhalterausführung.

Aus diesen Vorversuchen konnten für die erforderlichen motorspezifischen Bürstenentwicklungen nachstehende Schlußfolgerungen abgeleitet werden:

1. Wie aus Bild 2 zu entnehmen ist, führt die Erhöhung des C-Anteiles (Naturgraphit) zu einer eindeutigen Verringerung des Bürstenverschleißes, wobei jedoch der Wert von etwa 0,15 mm/100 h auch bei weiterer Erhöhung des C-Anteiles keine wesentliche Veränderung mehr zeigen dürfte, also einen Grenzwert darstellt.
   Die Erhöhung des Preßdruckes von 100 MPa auf 400 MPa führt zwar zu einer Steigerung der Materialfestigkeit, wirkt sich jedoch auf den Verschleiß bei höherem Graphitgehalt nicht oder nur unwesentlich aus. Die erhöhte Materialfestigkeit ist jedoch technologisch u. a. für das Einbringen der Kupferlitze von Bedeutung.
2. Der im Bild 3 dargestellte Zusammenhang zwischen C-Gehalt und Kontaktspannungsabfall ΔU deutet darauf hin, daß die Zielgröße $\Delta U \leqq 1{,}5$ V auch mit C-Anteilen von etwa 50 % realisierbar ist, da unter Kommutierungsbedingungen kleinere Werte für ΔU zu erwarten sind.

Testversuche mit Feinkorngraphit ($< 0{,}04$ und $< 0{,}06$ mm Maximalkorn), aber gleichen technologischen Versuchsbedingungen bestäti-

gen die aus der Praxis bekannten Erkenntnisse, daß Feinkorngraphite zwar zu einer Erhöhung des spezifischen elektrischen Widerstandes führen, jedoch nur eine unwesentliche Erhöhung des Kontaktspannungsabfalles bewirken.
In speziellen Vorversuchen für den Anwendungsfall „GMM mit Hohlläufer" wurden darüber hinaus nachstehende Bürstenkonstruktionen hinsichtlich ihrer möglichen Anwendbarkeit überprüft:

- Blockbürste/Taschenbürstenhalter
- Blockbürste in Federschenkel eingeklemmt; Federschenkel mittels Zapfen geführt
- Hebelbürste; Führung mittels Zapfen.

Im Rahmen dieser speziellen Untersuchungen konnte nachgewiesen werden, daß nur die über Zapfen geführte Hebelbürste wegen ihrer annähernd reibungsfreien Aufhängung den Erfordernissen für GMM entspricht, und zwar sowohl hinsichtlich Lebensdauer, Geräuschverhalten, Einbauverhalten u.a. als auch hinsichtlich des angestrebten Motorwirkungsgrades.
Die weiteren überprüften Bürstenkonstruktionen erfüllten diese Forderungen nicht oder nur unzureichend.
Mit den neuentwickelten Bürstenmarken M2 [4] und M3 [5] konnte den motorseitigen Erfordernissen entsprochen werden. Die spezifischen Kennwerte und das derzeitige Hauptanwendungsgebiet sind in der Tafel 4 dargestellt. Diese Marken wurden im Vergleich zu den in Tafel 3 aufgeführten Bürstenmarken in ausgewählten Kleinspannungsmotoren mit gutem Ergebnis getestet (siehe Tafel 5) und erfüllten die geforderten motortechnischen Kenndaten, wie Anlaufmoment, Anlaufspannung, Nenndrehzahl, Motorgesamtwirkungsgrad. Zusätzliche anwendungstechnische Untersuchungen mit anderen Kleinspannungsmotoren deuten auf sehr breite Anwendbarkeit dieser Marken hin.
Mit der Produktionsaufnahme dieser Marken durch den VEB Elektrokohle Lichtenberg wurde eine wesentliche Sortimentserweiterung bewirkt. Die Lieferung dieser Marken hinsichtlich Abmessung und Ausführung ist entsprechend TGL 17556/03 [6] möglich.

3. Zusammenfassung

Die Realisierung motortechnischer Parameter ausgewählter Kleinspannungsmotoren erfordert den Einsatz von Cu-C-Bürsten mit einem Gehalt an Cu von 35 bis 50 % und teilweise spezieller Bürstenkonstruktionen.
Mit den neuentwickelten Qualitäten M2 und M3 konnte, bezogen auf die spezifischen Anwendungsfälle, den Erfordernissen entsprochen werden. Der Einsatz in weiteren Kleinspannungsmotoren und auch in Drehstrom-Asynchronmotoren erscheint möglich.

Literatur

[1] *v. Ardenne, M.:* Tabellen der Elektronenphysik. Ionenphysik und Übermikroskopie. Bd. II. Berlin: DVDW 1956
[2] *Deynet, R.; Straüß, H.:* Elektrische Hilfsantriebe für Fahrzeuge. Siemens-Energietechnik, Berlin 2 (1980), S. 336—338
[3] *Weinert, H.:* Einflußgrößen für den Kohlebürstenverschleiß auf Kleinmotoren, Mitteilung der Ringsdorff-Werke Mehlem (Rhein) 1 (1967)
[4] Standard EKL-S 22341. Bürsten für Autoheizgebläsemotoren. Ausgabe 06/82
[5] Fachbereichstandard TGL 17556/08. Hebelbürsten für Gleichstrommikromotoren Ausgabe 06/84
[6] Fachbereichstandard TGL 17556/03. Bürsten für rotierende elektrische Maschinen — Hauptabmessungen. Ausgabe 03/78

EA 5623

Folgende Themen zur Hochspannungs-Prüftechnik finden Sie im Heft 6/1986

Wolf, J.
Berechnung nichtstationärer Vorgänge in Hochspannungsanlagen

Pflicke, W.; Lemke, E.
Zur Problematik von Teilentladungen an Teller-Segmentelektroden

Lemke, E.; Haller, R.
Normalfunkenstrecke zur Prüfung von Teilentladungs-Meßkreisen bei Hochspannung

Menzel, W.
Zur Bewertung der Teilentladungsbeständigkeit von Kunststoff-Isolator-Oberflächen

Eine universelle Berechnungsmethode elektromagnetischer Maschinen unter Berücksichtigung der Nutung und ihre Sättigung

Von Ivanov-Smolenskij, A. V.

Die Berechnungsmethode wurde mit dem Ziel einer umfassenden Berücksichtigung der Nutung im Magnetkreis, der Änderung der Grenzen des nichtmagnetischen Raumes zwischen Ständer und rotierendem Läufer sowie der Sättigung von Abschnitten des Magnetkreises erarbeitet.
Das Prinzip der Methode besteht in der Darstellung des ebenen Feldes im Bereich des Luftspaltes und der Nuten als Summe der Felder, die durch die Ströme in den Zahnkonturen gebildet werden, d.h. in den Konturen, die einen Zahn umfassen. Die Gesamtheit der von den Strömen in den Zahnkonturen gebildeten Magnetfelder ergibt das Magnetfeld in der aktiven Zone (Berechnungslänge). Dieses beinhaltet sowohl das Hauptfeld als auch die Felder der Nut- und doppeltverketteten Streuung (Oberwellenstreuung). Das Feld der Wicklungskopfstreuung wird während der Berechnung der elektrischen Kreise berücksichtigt. Dies erfolgt durch Einführung einer induzierten Spannung der Wicklungskopfstreuung in das entsprechende Gleichungssystem.
Die Berechnung der elektromagnetischen Prozesse der Maschine mittels der vorgenannten Methode erfolgt in zwei Schritten. Im ersten Schritt wird durch lineare Approximation die numerische Berechnung des Magnetfeldes durchgeführt, das von den Strömen in den Zahnkonturen gebildet wird. Im Ergebnis erhält man die das Magnetfeld charakterisierenden Leitfähigkeiten in Abhängigkeit von der Lage des Läufers zum Ständer. Im zweiten Schritt werden die Ersatzschaltbilder des Magnetkreises mit den vorgenannten Leitfähigkeiten sowie den nichtlinearen Leitfähigkeiten seiner Elemente erstellt. Mittels der für diese Ersatzschaltbilder gebildeten Gleichungen erfolgt die numerische Berechnung der elektromagnetischen Prozesse der Maschine.

Der vollständige Artikel liegt im WB Elektromechanik und Technologie der Sektion Elektrotechnik der TH Ilmenau vor.
H. Biesenack, Ilmenau

EA 2125

Hauschild, W.; Wolf, J.
Statistische Auswertung mit dem Bürocomputer — Ermittlung und Darstellung empirischer Normalverteilungen

Rausendorf, S.; Schufft, W.
Berechnung des elektrischen Feldes kugelförmiger Teller-Segmentelektroden

Schufft, W.; Beyer, J.
Messung der Durchschlagspannung an einer 2,7-m-Teller-Segmentkugel gegen Erde unter Freiluftbedingungen

Lemke, E.
Vorausberechnung der Durchschlagspannung langer Luftisolierstrecken bei Belastung mit Schaltimpulsspannungen kritischer Stirnzeit

Pfitzner, G.; Zimmermann, E.
Nullimpedanzen von Drehstrom-Öl-Transformatoren

Bachmann, H.; Köckritz, M.; Vetters, G.
Eine neue Steuerung für Impulsspannungs-Prüfgeneratoren

Thümmler, K.
Digitales Scheitelspannungs-Meßgerät für Gleich- und Wechselspannungen

Maucksch, S.; Freitag, W.; Dietrich, M.
Gestaltungsgesichtspunkte für TE-Kabelprüfplätze an der Basis eines breitbandigen TE-Meßsystems

Die Redaktion

FACHTAGUNGEN

Wissenschaftliche Sektion Elektroenergieübertragungs- und -wandlungsanlagen (WS-EE) im Fachverband Elektrotechnik — 50. Fachberatung —

Am 31. Mai 1985 fand im Dresdner Klub der Intelligenz die Jubiläumsberatung als festliche Qualifizierungsveranstaltung zur Rahmenthematik „Wissenschaftliche Grundlagen zur Materialeinsparung durch Einsatz mikroelektronischer Mittel in der energieorientierten Elektrotechnik" statt. Sie wurde zugleich durchgeführt in Würdigung des 40. Jahrestages der Befreiung vom Faschismus und zur Unterstützung der KDT-Initiative „XI. Parteitag".

Die WS-EE gehört zu den ersten wissenschaftlichen Sektionen, die vor 15 Jahren im Fachverband Elektrotechnik der Kammer der Technik gegründet wurden. Mit ihren derzeit etwa 35 ständigen Mitgliedern vereint sie in sich Fachkollegen des Hochschulwesens, der Hersteller starkstromtechnischer Erzeugnisse sowie der Betreiber elektrotechnischer Netze und Anlagen.

Mit einer persönlichen Grußadresse des Vorsitzenden des Fachverbandes Elektrotechnik, Prof. Dr.-Ing. *R. Jähn*, wurden die auf dem Gebiet des wissenschaftlich-technischen Fortschritts erbrachten Leistungen gewürdigt, die in den letzten Jahren in steigendem Maße auf die technischen Probleme und ökonomischen Effekte bei der Applikation der Mikroelektronik in elektroenergetischen Ausrüstungen und Systemen gerichtet waren. Darüber hinaus war und ist es Anliegen der WS-EE, die zugeordneten 58 Fach- und Fachunterausschüsse der KDT zielgerichtet anzuleiten. Durch Fachvorträge zu aktuellen Themen und zyklischen Wechsel der Beratungsorte, verbunden mit der Besichtigung neuester Einrichtungen, konnte zugleich die Weiterbildung der Mitglieder der WS-EE gefördert werden.

Eingebunden in die Jubiläumsveranstaltung erfolgte die offizielle Übergabe des Vorsitzes der WS-EE von Prof. Dr. *Frischmann* an Prof. Dr. *Pfeiler*. Der Vorstand des Fachverbandes Elektrotechnik sprach dem wegen Erreichen des 65. Lebensjahres scheidenden Vorsitzenden herzlichen Dank und Anerkennung für sein Wirken seit Gründung der WS-EE aus und wünschte zugleich dem neuen Vorsitzenden beste Erfolge bei der Bewältigung der vor ihm stehenden Aufgaben. Die 50. Beratung fand ihren würdigen Abschluß mit dem gemeinsamen Erleben des Films „Wege in den Kosmos".

Das Vortragsprogramm der 50. Beratung beinhaltete folgende Beiträge, an die sich jeweils eine lebhafte Diskussion anschloß:

1. *Frischmann, W.*, Prof. Dr.-Ing., TH Leipzig: 15 Jahre Wirken der WS-EE, Rückschau und Ausblick
2. *Ambrosch, H.*, Prof. Dr.-Ing., TU Dresden: Die Wissenschaftskonzeption „Elektrotechnik", ein wissenschaftsstrategischer Beitrag des Hochschulwesens in Vorbereitung auf den XI. Parteitag der SED
3. *Baumann, E.*, Dr.-Ing., IEV Dresden: Automatischer Betrieb von Hochspannungsnetzen durch Einsatz der Mikroelektronik

Bild 1
220- und 380-kV-Freileitung im Bezirk Dresden als Bestandteil des internationalen Verbundsystems „Frieden"

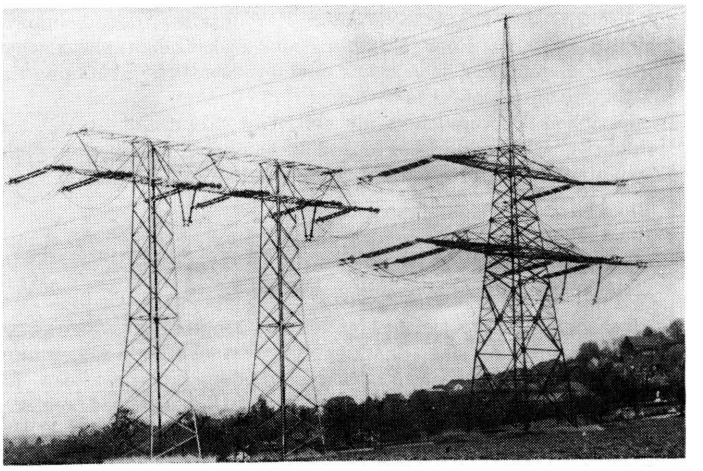


Bild 2
Übergabe des Vorsitzes der WS-EE von Prof. Dr.-Ing. *W. Frischmann* (links) an Prof. Dr. sc. techn. *V. Pfeiler* (rechts)
▼

4. *Reiher, S.*, Dipl.-Ing., Energiebau Berlin: Materialsparende Bauweisen bei der Gestaltung neuer Umspannwerke
5. *Roske, J.*, Dipl.-Ing., Kombinat Automatisierungsanlagenbau: Zur Leitermaterialeinsparung bei Elektroenergieanlagen
6. *Maus, O.*, Obering. Dipl.-Ing., Chem. Werke Buna: Technische Diagnostik an elektrotechnischen Betriebsmitteln
7. *Vogel, J.*, Prof. Dr. sc. techn., und *Schauer, W.*, Doz. Dr. sc. techn., TH Magdeburg: Die Entwicklung zu mikroelektronisch gesteuerter Antriebstechnik
8. *Pfeiler, V.*, Prof. Dr. sc. techn., TH Ilmenau: Zur Gestaltung von Drehstrom-Niederspannungssystemen mit Kurzschlußstrombegrenzungseinrichtungen auf Stromrichterbasis.

Frischmann nahm die besondere Bedeutung der Beratung zum Anlaß, in Art eines Rechenschaftsberichtes Rückschau zu halten auf herausragende Aktivitäten und Ausblick zu geben auf wissenschaftlich-technische Aufgaben der Zukunft.

Er hob hervor, daß die Arbeit der WS-EE ein Spiegelbild der Arbeit der energiekreisorientierten Fachausschüsse (FA) und Fachunterausschüsse (FUA) war und ist, also der Gremien, die sich vorwiegend mit Strömen im A- und kA-Bereich befassen. Allein 19 der insgesamt 58 Ausschüsse sind im Vorstand vertreten, darunter der FA 1, der FA 2 und der FA 13, die zum Teil schon über mehrere Jahrzehnte herausragend gute Leistungen gezeigt haben. Neben der Leitungstätigkeit im Sinne permanenter Anleitung und Kontrolle der zugeordneten Arbeitsgremien wurden von der WS-EE Probleme grundsätzlicher Art aufgegriffen. Beispielsweise seien stichwortartig genannt: Energiequalität, Energieeinsparung, Leitermaterialeinsparung, neue Leiterwerkstoffe, Wärmeabfuhr aus Geräten und Anlagen, Schaltüberspannungen, Roboterein-satz, Einsatz der Mikroelektronik und progressivere Standardisierung. Im Bedarfsfall wurde die Problemlösung durch eigens dafür angesetzte Fachtagungen, Kolloquien und zeitweilige Arbeitsgruppen herbeigeführt. Des weiteren übte die WS-EE entscheidenden Einfluß aus auf die Publikationstätigkeit in den Fachorganen.

Als zukünftige Aufgaben wissenschaftlich-technischer Art wurden u.a. herausgestellt: die verstärkte Anwendung der Mikroelektronik und der Informatik, die Problematik komplexer Antriebslösungen, insbesondere auch für die Robotertechnik, der Magnetkreis einschließlich der volkswirtschaftlichen Optimierung des Aufwandes bei Beachtung der Verluste, das elektrische Feld im Hinblick auf die Anlagengestaltung bei voller Ausnutzung der eingesetzten Materialien, die rechnergestützte Kontruktion und Fertigung (CAD/CAM), die Durchsetzung der schrittweisen Fertigungsautomatisierung unter Einsatz mikroelektronischer Lösungen. Der Vortragende schloß mit dem Appell, durch aktive KDT-Arbeit die Volkswirtschaft zu stärken und damit zur Sicherung des Friedens beizutragen.

Ambrosch erläuterte die Wissenschaftskonzeption „Elektrotechnik", die Ende 1984 im Auftrag des Ministers für Hoch- und Fachschulwesen von einer Arbeitsgruppe des Beirates für Elektroingenieurwesen unter Leitung des Vortragenden ausgearbeitet wurde.

Strategisches Kernstück dieser Wissenschaftskonzeption ist die Darstellung langfristiger Entwicklungslinien der energetischen Elektrotechnik, ihre Stellung und Bedeutung für die Weiterentwicklung der Volkswirtschaft der DDR und ihre Weiterentwicklung als Wissenschaftsdisziplin sowie die daraus abgeleitete Profilierung der auf diesem Gebiet lehrenden und forschenden Sektionen und Wissenschaftsbereiche der Technischen Universiät Dresden, der Technischen Hochschulen Ilmenau, Karl-Marx-Stadt, Magdeburg und Leipzig, der Hochschule für Verkehrswesen Dresden und den Ingenieurhochschulen Zittau, Zwickau und Wismar.

Als Schwerpunkte wurden dabei besonders hervorgehoben die wissenschaftlich fundierte Beherrschung der Einheit von Werkstoff, Konstruktion und Technologie mit dem Ziel hoher Material- und Energieökonomie sowie die immer enger werdende

Integration klassischer Baugruppen der energetischen Elektrotechnik und moderner Baugruppen der Leistungs- und Mikroelektronik sowie die Beherrschung der entstehenden Wechselwirkungen.

Angaben über den Stand und Vorstellungen über die Entwicklung der Erziehung und Ausbildung, der Weiterbildung und der Forschung auf dem Gebiet der Elektrotechnik wurden unter besonderer Berücksichtigung der Politbürobeschlüsse „Aufgaben der Universitäten und Hochschulen in der entwickelten sozialistischen Gesellschaft" vom 18. 03. 1980 und „Konzeption für die Gestaltung der Aus- und Weiterbildung der Ingenieure und Ökonomen in der DDR" vom 28. 06. 1983 vorgetragen und zur weiteren Diskussion aufgefordert.

Baumann stellte seinem Vortrag voran, daß eine stabile Elektroenergieversorgung verbunden mit den höheren Anforderungen an die Versorgungszuverlässigkeit und an die Qualität der Elektroenergie eine entscheidungssichere und reaktionsschnelle Netzsteuerung im Normalbetrieb sowie im Havarie- und Nachhavariezustand erfordert. Die damit verbundene Verarbeitung eines wachsenden Informationsumfanges von Prozeßgrößen für die Betriebsführung von Hochspannungsnetzen und die Möglichkeiten des Einsatzes der Mikroelektronik und Mikrorechentechnik führen zu einer automatisierbaren Leittechnik mit einem erweiterten Funktionsinhalt gegenüber der konventionellen Technik.

Der internationale Stand einer automatisierten Betriebsführung ist gekennzeichnet durch den Einsatz von Großrechnern und den Übergang zu Mikrorechnersystemen in den hierarchsich aufgebauten Steuerstellen sowie durch die Einführung mikroelektronischer Informationssysteme in den Kraftwerken und Elektroenergieanlagen.

Dieser Entwicklungstendenz folgend, werden in der DDR ebenfalls mikroelektronische Lösungen erarbeitet, deren Erstanwendung in der nächsten Zeit bevorsteht:

— Typlösung für die rechnergestützte Dispatchersteuerung von 110-kV-Teilnetzen in Bereichslastverteilungen
— Einsatz von Mikrorechnern in Netzbefehlsstellen für die Steuerung der Mittelspannungsnetze
— Schaltanlageninformationssystem Hochspannung für Umspannwerke der Elektroenergieübertragung
— Einsatz von Mikrorechnern in Verbindung mit moderner Informationsübertragung in vereinfachten 110-kV-Umspannwerken.

Alle Lösungen beinhalten ein Mehrmikrorechnersystem mit hohem Funktionsinhalt und die Informationsdarstellung mittels Bildschirmtechnik.

Reiher gab einen Überblick über die Entwicklung der Hochspannungs-Freiluftschaltanlagen und der dabei erreichten technisch-ökonomischen Effekte.

Ausgehend von den ersten 220-kV-Schaltanlagen in Kiellinienbauweise wurde dargestellt, daß aus Gründen der besseren Betriebsführung, der Gebäude- und Materialeinsparung mit der Tandembauweise, bei versetzter Anordnung der Trenner im Sammelschienenraum, sowohl für 220-kV- als auch bei 380-kV-Schaltanlagen eine für die DDR optimale Lösung gefunden wurde.

Mit der Einführung der sammelschienenlosen, vereinfachten Umspannwerke (VUW), zunächst für 110 kV/MS mit einer *H*-Schaltung für 2 Leitungen und 2 Transformatoren auf der 110-kV-Seite, wurde ein hoher Grad der Wiederverwendung und ein hohes Maß an Materialeinsparung erreicht. Heute sind die ersten vereinfachten 220-kV-Schaltanlagen, allerdings für 4 Leitungen und 4 Transformatoren, in Betrieb und für 380 kV in Vorbereitung. Die dazugehörigen umfangreichen 110-kV-Schaltanlagen werden in Tandembauweise errichtet. Die Anwendung einer speziellen Bausteinprojektierung ermöglichte bei der Dokumentationsanfertigung zusätzliche Arbeitszeiteinsparungen und Ansätze für den Rechnereinsatz in der Projektierung.

Eine große Anzahl von KDT-Objekten, Neuerervorschlägen und -vereinbarungen haben zu beträchtlichen volkswirtschaftlichen Effekten geführt, z. B. durch die Verringerung des Gebäudebedarfs, Einsparung an Bauleistungen, Senkung des Aufwandes an Stahl für die Portalkonstruktionen, Einsatz von korrosionsträgem Stahl, Substitution von Kupferrohren durch Pneumatikkabel aus PE usw.

Mit dem in Vorbereitung befindlichen Einsatz von Mikrorechnern und der Lichtwellenleitertechnik für die Steuerung und Überwachung von Schaltanlagen werden weitere gute Ergebnisse auch auf dem Gebiet der Materialökonomie erwartet.

Roske ging in seinem Beitrag aus von der Analyse und Bewertung

- des Prozesses der Elektroenergieübertragung und -verteilung
- der Hauptelemente (Hauptausrüstungen, Geräte, Leitungen) der elektrotechnischen Anlage
- den verfügbaren Einsatzmaterialien einschließlich des Trends der Entwicklung der spezifischen Kennwerte
- der wirtschaftlichen Anwendung neuer Wirkprinzipien in Geräten und Verfahren

und kam schlußfolgernd zu der Feststellung, daß folgende Lösungswege erkennbar sind:

- Nutzung der Leittechnik zur Senkung der Beanspruchungen (Zeit, Höhe)
- Anwendung von SF_6 und Vakuum zur Isolierung und Lichtbogenlöschung
- Einsatz rechentechnischer Verfahren zur Ermittlung der netz- und betriebsbedingten Beanspruchungen und zur Auslegung und Bemessung sowie Prüfung der Ausrüstungen und Geräte
- Anwendung automatisierter flexibler Fertigungssysteme zur wirtschaftlichen Beherrschung der Typenvielfalt.

Maus stellte anschaulich dar, daß die für Buna typischen Erzeugnisse, wie synthetischer Kautschuk und Plastrohstoffe, auch die elektrotechnischen Betriebsmittel, wie Karbidöfen und Chlorelektrolysen, kennzeichnen. Hierzu zählen: über 150 Großtransformatoren mit komplizierten Spezialeinheiten, wie Gleichrichter- und Ofentransformatoren, mehr als 40000 Hoch- und Niederspannungsmotoren, über 5000 Hoch- und Niederspannungsschaltgeräte mit hoher Schalthäufigkeit, z. T. in SF_6-Ausführung, und einem Kabelnetz mit etwa 6000 km Länge.

Diese Einrichtungen bewältigen bei einem 24-Stunden-Betrieb eine Leistung von etwa 900 MW und eine Elektroenergiedichte, die vergleichsweise zum größten Chemiekombinat, Leuna, 10fach größer ist. Aus dieser Konzentration elektrotechnischer Betriebsmittel läßt sich die Notwendigkeit ableiten, daß zur Gewährleistung einer sicheren und effektiven Produktion Diagnoseverfahren zur Zustandserkennung benötigt werden.

Diagnostische Untersuchungen an Maschinen und Maschinensystemen sind nicht neu. Sie werden jedoch zumeist an Betriebsmitteln vorgenommen, die nicht in Betrieb sind und teilweise demontiert wurden. Das Bestreben läuft jedoch darauf hinaus, Zustandsuntersuchungen an elektrotechnischen Betriebsmitteln vorzunehmen, die betriebsmäßig unter Spannung stehen. Am Anfang solcher systematischer Untersuchungen standen prophylaktische Gleichspannungsprüfungen mit der Bestimmung des Ableitstromes als Funktion der Spannung und der Zeit sowie Versuche, diese Gleichspannung der Betriebswechselspannung in Drehstromsystemen zu überlagern. Trotz der an Öltransformatoren mit Hilfe der gaschromatografischen Analyse erzielten Erfolge wird nach Möglichkeiten gesucht, die Informationen über Schäden an Transformatoren nicht über den Weg des Isolieröles, sondern direkt zu erfassen. Über die Schwingungsmessung rein mechanischer Art an Wälzlagern von Elektromotoren zum Erkennen von Lagerschäden, über Versuche, Leckstellen an Ölkabeln mit radioaktiven Isotopen und der Schallanalyse zu orten, bis hin zur Teilentladungsmessung auf der Basis des Ultraschalles und der elektrischen Schwingungsmessung bestehen Bemühungen, mit meßtechnischen Verfahren tiefer in Schädigungsprozesse an elektrotechnischen Betriebsmitteln Einblick zu gewinnen. Mit Beharrlichkeit wird in Buna das Ziel verfolgt, im Betriebszustand — also ohne Abschaltung — ohne Demontage und möglichst auch ohne fremde Prüfspannungsquelle, den Zustand unserer Maschinen und Anlagen zu erkennen. Ergebnisse dieser Arbeiten wurden auf den Tagungen „Technische Diagnostik" 1983 und 1985 dargestellt.

Vogel und *Schauer* unterstrichen einleitend die Tatsache, daß die Mikroelektronik zu einer neuen Qualität bei der Prozeßautomatisierung führt. Das betrifft sowohl die innere Basis der Automatisierungsmittel durch den Einsatz der Mikrorechner als auch die Schaffung neuartiger Automatisierungskonzepte und elektrischer Antriebslösungen. Moderne elektrische Antriebe sind ohne Fortschritte der Informationsverarbeitung nicht denkbar. Die Anforderungen an die Antriebstechnik, gekennzeichnet durch den stetig steigenden Anteil von drehzahlvariablen Antrieben mit hohen Qualitätsmerkmalen, führen zur Entwicklung von neuartigen Regel- und Automatisierungsstrukturen, die durch die Anwendung der Mikroelektronik geprägt werden.

Ausgehend von der Prozeßleitebene dringt die Mikrorechneranwendung zunehmend in den stromrichternahen Bereich ein und führt zu autonomen prozessorgesteuerten Antriebslösungen. Neben der Erweiterung und zusätzlichen Übernahme von Ansteuer-, Schutz- und Diagnosefunktionen, charakterisiert durch selbstablaufende Programmroutinen vor Einschaltung des Antriebes und während des Betriebes, sind die weiteren Aufgaben der Strukturumschal-

tung der Antriebsregelkreise, Anwendung von Zustandsbeobachtern sowie Sollwert-Rechnern zu nennen. Vorteilhaft können diese Aufgaben auch von Signalprozessoren realisiert werden. Die Selbsteinstellung von Reglerparametern nach automatisch ablaufenden Prüfalgorithmen zählt zu den künftigen Anforderungen.
Weitere Aufgabenkomplexe bestehen in den Möglichkeiten, höhere Algorithmen für die Steuerung und Regelung von Prozeßabläufen zu bearbeiten. Die Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit der Anlagen, die mit Mikrorechnern und automatisierten elektrischen Antrieben ausgestattet werden, läßt sich generell wesentlich erhöhen. In den meisten Fällen können auch beträchtliche Einsparungen an Material und Energie erreicht werden.
Pfeiler charakterisierte, ausgehend von der Grundaufgabe der Anlagengestaltung, die zwei prinzipiellen Lösungswege für Drehstromsysteme:

1. Die Betriebsmittel und Anlagen werden allen Einsatzbedingungen so angepaßt, daß sie den Beanspruchungen standhalten.
2. Die Einsatzbedingungen werden so verändert, daß der Einsatz der Betriebsmittel und Anlagen ohne Überschreitung ihrer Parameter möglich ist.

Zur Kennzeichnung wichtiger Zusammenhänge im Drehstromsystem wurde u.a. der dreipolige symmetrische Kurzschlußstrom verwendet und bezüglich der prinzipiellen Möglichkeiten zur Beherrschung von Kurzschlußströmen die Wirkungsweise von schnellwirkenden Kurzschlußschutzeinrichtungen erklärt.
Die an der TH Ilmenau im Auftrage der FKG ELTRA geschaffenen Kurzschlußstrombegrenzungseinrichtungen (KSBE) auf Stromrichterbasis wurden in ihrer Wirkungsweise und Grundschaltung vorgestellt und ihre Erweiterungen aus der Sicht der Sternpunkterdung und zur Fehlerunterbrechung erläutert.
Die gerätetechnische Lösung der KSBE besteht aus einer Drehstrombrückenschaltung mit ansteuerbaren Thyristoren im Sternpunkt eines Transformators und einer Drosselspule im Gleichstromkreis. Der Kurzschlußstrom wird stark vermindert und mittels einer mikroelektronisch gesteuerten Impulssperre der Stromfluß nach etwa 14 ms unterbrochen.
Abschließend wurden die durch KSBE gegebenen Möglichkeiten der Systemgestaltung aufgezeigt. Die Einsatzgebiete der KSBE und die schaltungstechnischen Varianten zur Systemgestaltung sowie der bei der Erprobung erreichte Stand wurden bekanntgegeben.

G. Issel; H. Ambrosch; Dresden EA 2140

Elektrotechnologie

5. Fachtagung mit internationaler Beteiligung in Magdeburg am 28. und 29. August 1985

Das starke Anwachsen der Bedeutung von Elektrotechnologien für den technologischen Fortschritt wurde unterstrichen durch die Teilnahme von nahezu 300 Fachleuten, bei einer großen Anzahl von Experten aus der UdSSR, der BRD, der ČSSR, aus der Ungarischen VR, der VR Polen, VR Bulgarien und aus der SFR Jugoslawien. Ausgehend von den seitens des Präsidiums der Kammer der Technik der DDR und des Volkseigenen Kombinates Lokomotivbau-Elektrotechnische Werke „Hans Beimler" Hennigsdorf dargelegten Entwicklungsaufgaben auf dem Gebiet der Elektrotechnologie wurde in den Fachkreisen Elektrowärmebehandlungstechnologien, Elektrostrahltechnologien, Elektrobearbeitungstechnologien und technologische Roboter mit integrierten elektrotechnologischen Fertigungsoperationen etwa zu 90 Problemstellungen technologischer Entwicklungen der Erfahrungsaustausch geführt.
Im Vordergrund der Beratungen standen:

- neue Entwicklungen der Verfahrens- und Anlagentechnik sowie der Prozeßmodellbildung und Softwaregestaltung, die als automatisierungstechnische Instrumentalien für technologische Entwicklungen verfügbar sind
- der Verfahrensvergleich hinsichtlich der technologischen Leistungsfähigkeit, der durchgängigen Automatisierbarkeit der Produktion, der Einsparung von Prozeßstufen und der Senkung des spezifischen Energieverbrauchs
- die zweckmäßigsten Entwicklungswege, um die neuen Technologien mit ihren noch bestehenden Risikofaktoren mit möglichst hoher Garantie für das erzeugte Produkt zu erschließen.

Hervorzuheben ist das heute verfügbare Angebot der Leistungsfähigkeit leistungs- und mikroelektronischer Systeme zur optimalen Gestaltung technologischer Prozeßstufen. Dem internationalen Entwicklungstrend zur funktionellen Qualitätserhöhung von Oberflächen folgend wurden die wesentlichsten Verfahrensvarianten, wie die Modifikation von Werkstoffeigenschaften im oberflächennahen Bereich von Werkstücken durch Elektronen- und Laserstrahlen, wie die Beschichtung von Bauteilen und Halbzeugen unter Einwirkung des Plasmas vorgestellt.
Im Komplex der Elektrobearbeitungstechnologien wurde über Fortschritte in der Nutzung von elektrisch erregten Druckwellen in der Gießereitechnik, über neue Möglichkeiten der Werkstückbearbeitung durch elektrochemische und funkenerosive Bearbeitung und das Beschichten hoch beanspruchter Oberflächen durch Elektrofunkenentladungen berichtet.
Das Angebot neuer automatisierter technischer Lösungen in der Anwendung von Elektrotechnologien wurde verbunden mit Informationen über neue technologieangepaßte elektronische Stromquellen — wobei sich für Hochstromquellen auf Umrichterbasis in der technischen Entwicklung eine besondere Bedeutung abzeichnet.

H. Barner, Magdeburg EA 2103

Meß- und Prüftechnik für elektromechanische Systeme

Vom 20. 11. bis 21. 11. 1985 fand im Rahmen der WK 1985 der IH Zwickau das 3. Kolloquium „Meß- und Prüftechnik für elektromechanische Systeme" mit über 100 Teilnehmern aus dem In- und Ausland statt. Der KDT-FUA 5.3 „Meß- und Prüftechnik für elektrische Maschinen" nahm mit seinem Vorsitzenden Dr. *Gladun* geschlossen an dieser Veranstaltung teil. Geleitet wurde das Kolloquium von Prof. Dr.-Ing. *Kain*.

Folgende Themenkomplexe wurden vorrangig behandelt:

- neue Wege der Fehlererkennung in elektrischen Maschinen
- neuartige und verbesserte Verfahren zur Messung und Prüfung elektrischer Maschinen im stationären und nichtstationären Betriebszustand
- Automatisierung der Meß- und Prüfprozesse für elektrische Maschinen unter Einsatz moderner Rechentechnik
- allgemeine Probleme der Diagnosetechnik für Elektroantriebe.

Prof. Dr. sc. techn. *Vogel*, TH Magdeburg, stellte in seinem Vortrag „Kennwerte elektrischer Maschinen zur Beschreibung ihres thermischen Verhaltens"[1]) ein sogenanntes Zweikomponentenmodell vor, mit dessen Hilfe die thermischen Verhältnisse in der Maschine ausreichend genau ermittelt werden können.
Dieses Modell, das sowohl drehzahlabhängige als auch drehmomentabhängige Verluste berücksichtigt, benötigt relativ wenig thermische Kennwerte und bietet für die Prüffeldarbeiten zahlreiche Vorteile.
Der Vortrag von Doz. Dr. sc. techn. *Biesenack* und Dipl.-Ing. *Zeise*, TH Ilmenau, „Automatisiertes Meßsystem zur Temperatur- und Strömungsmessung"[1]) beschrieb im wesentlichen ein Meßwerterfassungssystem, dessen Basis ein Mikrorechner MC 80 bildet, der zur Meßwertverarbeitung und -anzeige dient. Mit einem entsprechenden Meßstellenumschalter können zahlreiche Meßstellen nacheinander abgefragt werden. Die Einmeßgrößen für die Meßfühler werden dem System anfangs eingegeben. Eine Grafikdarstellung ist möglich.
Prof. Dr.-Ing. *Kain*, IH Zwickau, berichtete in seinem Beitrag „Das Leistungsindikationsverfahren zur Fehlerermittlung an Transformatoren und Asynchronmaschinen"[1]) über verfahrens- und gerätemäßige Möglichkeiten der Fehlererkennung mittels Wirkleistungsmessungen an diesen Maschinen. Hiernach kann beispielsweise das LI-Verfahren für ASM ab etwa 1,5 kW Nennleistung erfolgreich zur Feststellung von nur einer kurzgeschlossenen Windung in einem Strang der Statorwicklung eingesetzt werden.
Im Vortrag von Staatspreisträger Prof. Dr. sc. techn. *Pavlásek*, TH Prag (ČSSR), über „Einige Probleme der digitalen Messungen von stationären und transienten Vorgängen elektrischer Maschinen" wurden die neuesten Ergebnisse und Erkenntnisse aus seinem langjährigen wissenschaftlichen Arbeitsgebiet vorgestellt.

Die mit [1]) gekennzeichneten Beiträge sind in „Wissenschaftliche Beiträge der IH Zwickau" 11 (1985) 3 veröffentlicht.

Schwerpunktmäßig wurden Probleme der rechnergestützten Automatisierung der Meß- und Prüfprozesse von Drehstromasynchronmotoren behandelt.

Der Vortrag von Dipl.-Ing. *Pivonka*, TH Prag (ČSSR), „Automatisierung der Messung der Drehmoment/Drehzahl-Kennlinie beim Anlauf einer Drehstromasynchronmaschine" ergänzte den vorangegangenen Beitrag durch die ausführliche Darstellung der auftretenden Probleme an einem konkreten Beispiel. Hierbei wurden auch die Algorithmen der Meß- und Auswerteprogramme sowie die Fehlereinflußgrößen behandelt.

Im Vortrag „Kennwertermittlung und Fehlererkennung bei der Prüfung von Gleichstrommaschinen im dynamischen Betrieb"[1]) gingen Prof. Dr. sc. techn. *Paulig* und Dipl.-Ing. *Uwe Gensch*, TU Dresden, insbesondere auf Probleme der Belastungssimulation für den automatisierten Prüfprozeß an ungekuppelten Gleichstrommaschinen im stationären und nichtstationären Betrieb ein.

Mit dem Vortrag „Zur rechnergestützten Erfassung und Verarbeitung niederfrequenter Größen"[1]) lieferte Doz. Dr.-Ing. *Reinhardt* einen grundlegenden Beitrag für den effektiven Rechnereinsatz zur Erfassung von Prüfgrößen im Frequenzbereich 0,1 bis 10 Hz. Hierbei wurden Probleme der optimalen Abtastzahl pro Periode, die Ermittlung von Spitzen-, Effektiv- und arithmetischen Mittelwerten sowie die Digitalisierungs- und Kurvenfehler behandelt.

Im Vortrag von Doz. Dr. sc. techn. *Kunze* und Dr.-Ing. *Michalik*, TU Dresden, „Hard- und Softwaregestaltung eines mikrorechnergestützten Asynchronmaschinenprüfstandes"[1]) wurde die optimale Gestaltung der Hard- und Software eines Prüfstandes zur Bestimmung der stationären Betriebsparameter kleiner ASM dargelegt. Hiernach haben sich kombinierte Assembler-BASIC-Notationen mit überwiegenden BASIC-Anteil sowie die Schaffung vielseitig nutzbarer Software-Bausteine besonders bewährt.

Nationalpreisträger Dipl.-Ing. *Günter Gensch*, Kombinat Elektromaschinenbau/Elektromotorenwerk Dessau, befaßte sich in seinem Vortrag „Rechnergestützte Serienprüfung eines Antriebes für Industrienähmaschinen" mit Problemen der äquivalenten Nachbildung der erzeugnistypischen Belastungen sowie mit den möglichen Varianten der Meßwertbildung und der Meßwertgeber aus der Sicht der Meßgenauigkeit und der weiteren Verarbeitung der Meßwerte.

In dem Vortrag „Messungen am Kontaktsystem von Gleichstrommikromotoren"[1]) gingen Dr.-Ing. *Stupin*, Kombinat Elektromaschinenbau Dresden, und Dr.-Ing. *Schubert*, TU Dresden, insbesondere auf Probleme des Auffindens geeigneter Kontaktwerkstoff-Paarungen, auf die Belastbarkeit des Kontaktsystems, auf einzustellende Bürstenkräfte sowie auf die Wirkung von Kommutierungshilfen ein. Die hierzu entwickelten speziellen Modellanordnungen wurden beschrieben.

Am 2. Tag des Kolloquiums sprach Dr.-Ing. *Sieber*, Kombinat Elektromaschinenbau Dresden (in Vertretung für Dr.-Ing. habil. *Reiche*), zum Thema „Zusammenhang zwischen Zuverlässigkeit und der Notwendigkeit der Zustandsdiagnose von Antrieben" (s. ELEKTRIE, Berlin 39 (1985) 2, 50–54). Ausgehend von den Haupt-Ausfallursachen wurden die Schwerpunkte der Diagnostik herausgearbeitet.

In dem Beitrag „Ein Verfahren zur Schätzung der Restlebensdauer in elektrischen Betriebsmitteln"[1]) von Doz. Dr. sc. techn. *Amft*, TH Karl-Marx-Stadt, wird eine Gleichung zur Bestimmung der Restlebensdauer eines Motors vorgeschlagen. Zur Lösung werden die Strom-Zeit-Funktion und einige Konstanten benötigt.

Doz. Dr.-Ing. *Schulze*, IH Zwickau, sprach zum Thema „Schutz- und Diagnosetechnik für Gleichstromstellantriebe"[1]) und zeigte, daß auch charakteristische Größen eines kompletten im Einsatz befindlichen Antriebs für die Diagnostik genutzt werden können.

Mit dem Vortrag „Voraussetzungen und Möglichkeiten zur Einbeziehung rotierender elektrischer Maschinen in die Isolationskoordination bis 1000 V"[1]) ging Dr.-Ing. *Küttner*, IH Zwickau, auf aktuelle Probleme bei der Überarbeitung und Anwendung der TGL 20445/03 ein. Es erscheint als zweckmäßig, die elektrischen Maschinen nicht pauschal in ein und dieselbe Isolationsgruppe einzustufen und die Maschinen in bestimmten Fällen als unmittelbar geschützte Betriebsmittel auszuführen.

Dr.-Ing. *Koschinsky*, IH Zwickau, stellte in seinem Vortrag „Untersuchungen zur dielektrischen Festigkeit bei Impulsspannungsbeanspruchung von Niederspannungs-Asynchronmotoren mit Hilfe von motorspezifischen Elektrodenanordnungen"[1]) an den Anfang, daß eine sinnvolle Untersuchung des Isoliervermögens von Motoren durch die Untersuchung geeigneter Elektrodenmodelle (z. B. Drahttwist) erfolgen kann. Das Isolierverhalten des kompletten Motors wird dann mit dem Vergrößerungsgesetz bestimmt. Es zeigt sich, daß damit brauchbare Ergebnisse ermittelt werden.

Im Vortrag von Doz. Dr. sc. techn. *Eberhardt* und Dipl.-Ing. *Börner*, TU Dresden, „Zur Übertragbarkeit der an Modellisolierungen ermittelten Lebensdauerkennlinien auf Niederspannungs-Asynchronmaschinen"[1]) wurde an Vergleichen zwischen den Ergebnissen vom Dauerreversiertest und vom Motorettentest gezeigt, daß sich unterschiedliche Ausfallzeiten und unterschiedliche Weibull-Exponenten ergeben.

Doz. Dr. sc. techn. *Wlodeck*, Direktor des Institutes für Energietechnik an der Berg- und Hüttenakademie Kraków, berichtete in seinem Vortrag „Teilentladungsmessungen an den Wicklungen von Niederspannungs-Asynchronmotoren" u. a. über Ergebnisse der Zusammenarbeit zwischen AGH Kraków und IH Zwickau. Es wurden dabei erste Resultate von Untersuchungen zur Brauchbarkeit der Teilentladungsmessungen für die Wicklungsdiagnose von NS-Asynchronmotoren dargestellt.

In dem Vortrag von Prof. Dr. sc. techn. *Noga*, Berg- und Hüttenakademie Kraków, „Untersuchungen von Synchronmaschinen im gestörten Zustand"[1]) wird ein Modell zur Behandlung von Fehlern der Drehstromwicklung vorgestellt. Meßergebnisse bezüglich Induktivität und Strom werden den mit dem Modell ermittelten Berechnungsergebnissen gegenübergestellt.

Im letzten Vortrag sprach Doz. Dr. sc. techn. *Rams*, Berg- und Hüttenakademie Kraków, zum Thema „Methoden und Einrichtungen zur Kontrolle innerer Unsymmetrien in Induktionsmaschinen"[1]). Es wurden weiterentwickelte Prüfverfahren und -einrichtungen, u. a. unter Ausnutzung des Unipolarflusses, zur Feststellung von unsymmetrischen Fehlern an Asynchronmotoren mit Schleifring- und Kurzschlußläufern vorgestellt.

Mit einem Schlußwort des Tagungsleiters, Prof. Dr.-Ing. *Kain*, fand das Kolloquium seinen Abschluß.

Die große Teilnehmerzahl und die rege Diskussion zu den Vorträgen waren Ausdruck des großen Interesses an der behandelten Thematik.

W. Kain; J. Reinhardt, Zwickau EA 2151

Wir empfehlen aus dem VEB Verlag Technik

Grundlagen der elektrischen Meßtechnik

Von *W. Richter*. Berlin: VEB Verlag Technik 1985. 1. Auflage. 308 Seiten, 321 Bilder, 38 Tafeln. Leinen 19,– Mark.
Bestell-Nr. 553 4700

Neben einer gründlichen Darstellung von Kenngrößen und Kennfunktionen für Meßeinrichtungen sowie der gesamten Fehlerproblematik enthält das Buch vor allem die für die moderne elektrische/elektronische Meßtechnik typischen Funktionseinheiten, Meßgeräte und -systeme bis hin zu Sensoren und mikroprozessorgesteuerten Meßeinrichtungen.

Das Darstellungsniveau ist auf die Verwendung als studienbegleitende Literatur in der Aus- und Weiterbildung von Ingenieuren technischer Disziplinen zugeschnitten. Die vielen Beispiele geben Hinweise für eine direkte Nutzung in der meßtechnischen Praxis.

Interessenten: Studenten aller Fachrichtungen der Elektrotechnik an Fach- und Hochschulen, Ingenieuren in der Praxis.

Die Redaktion

BUCHER

Elektrische Maschinen

Grundlagen, Aufbau und Wirkungsweise

Von *Germar Müller*. Berlin: VEB Verlag Technik 1985. 6., bearbeitete Auflage, 520 Seiten, 543 Bilder, 35 Tafeln
Kunstleder 40,— M
Bestell-Nr. 553 445 2

Das Lehrbuch ist in der 6. Auflage erschienen und gehört zum Gesamthochschullehrwerk Elektrische Maschinen. Die bewährte inhaltliche Gestaltung wurde beibehalten. Den Hauptabschnitten vorangestellt ist ein Kapitel über wesentliche Gesetzmäßigkeiten der Wechsel- und Drehstromtechnik sowie über magnetische Felder. Grundgesetze der Elektrotechnik werden vorausgesetzt. Diese Vorgehensweise entspricht der Ausbildung von Studenten und gestattet einem breiten Leserkreis die Nutzung des Buches.
Der Reihe nach werden in Hauptabschnitten systematisch die Stoffgebiete Transformator, allgemeine Betrachtungen über rotierende elektrische Maschinen, Gleichstrommaschinen, allgemeine Betrachtungen über Maschinen mit Drehfeldern als Luftspaltfeld, Dreiphasen-Asynchronmaschinen, Dreiphasen-Synchronmaschinen und Einphasen-Wechselstrommaschinen behandelt.
Auf der Grundlage von Feldbetrachtungen, Flußverkettungen sowie Spannungs- und Energiebilanzen werden Aussagen zur Wirkungsweise und zum Betriebsverhalten bei verschiedenen Belastungszuständen abgeleitet. Analytische Ableitungen und Berechnungsmethoden gestatten die Beschreibung der Maschinen sowie die Ermittlung charakteristischer Maschinenparameter.
Durch die sorgfältige Arbeit mit Energiebilanzen und Leistungsflüssen können unter Beachtung des Betriebsverhaltens Aussagen zur Applikation elektrischer Maschinen in einer Reihe von Anwendungsfällen getroffen werden.
Zusammenfassende Aussagen über Bauformen, Schutzgrade, Nennbetriebsarten, Kühlarten usw. werden durch Einbeziehung von IEC-Publikationen sowie Standards nach TGL RGW, TGL und VDE wertvoll ergänzt.
Darstellungen zur konstruktiven Gestaltung geben einen guten Einblick in den Aufbau elektrischer Maschinen. Technische Ausführungsbeispiele unterstützen die Anschaulichkeit des behandelten Stoffes. Sie wurden den neuesten Entwicklungen des Elektromaschinenbaus angepaßt. Besondere Aufmerksamkeit verdient der inhaltlich neu gestaltete Anhang. Auszüge wichtiger Standards elektrischer Maschinen gestatten eine effektive Arbeit mit dem Lehrbuch. Unterstützt wird dies insbesondere durch die Einbeziehung oben aufgeführter Standards.
Eine ausführliche Zusammenstellung der wichtigsten Standards für Transformatoren und rotierende elektrische Maschinen bietet eine gute Grundlage für tiefergehende Betrachtungen über Auswahl, Betrieb, Prüfung und Wartung elektrischer Maschinen in den verschiedensten Anwendungsfällen des In- und Auslandes.
Das Buch stellt insbesondere für Studenten ein wichtiges Arbeitsmittel zum Erwerb von Kenntnissen über die Wirkungsweise und das Betriebsverhalten elektrischer Maschinen dar. Weiterhin ist es für den in der Praxis tätigen Ingenieur ein wertvolles Hilfsmittel.

W. Schauer, Magdeburg EA 2135

Drehzahlgeregelte Drehstromantriebe

Wirkungsweise und Einfluß auf das Versorgungsnetz

Herausgeber: *W. Gilson*. Berlin/Offenbach: VDE-Verlag GmbH 1983. 132 Seiten

Die Vorträge einer Tagung aus dem Jahr 1983 sind zusammengestellt. Daher ist das Buch vor allem für die Weiterbildung geeignet. Es werden die Themen

- Geschichte des Regelmotors
- Überblick über Aufwand und Fähigkeiten verschiedener Drehstromantriebssysteme
- Umrichtergespeiste Antriebssysteme in der Industrie
- Rückwirkung drehzahlgeregelter Drehstromantriebe auf Industrienetze

behandelt. Dabei ist von Bedeutung, daß die Fragen der Qualität der Netzspannung angesprochen werden. Zahlreiche Anwendungsbeispiele werden vorgestellt sowie ökonomische Betrachtungen angestellt.
Das Buch vermittelt einen guten Einblick in den Stand der Technik von 1983. Die Aussagen haben noch immer Gültigkeit. Der zunehmende Absatz drehzahlgestellter Drehstrommotoren unterstreicht das.

P.-K. Budig, Karl-Marx-Stadt EA 2141

Regelung elektrischer Antriebe I

Von *G. Pfaff*. München/Wien: R. Oldenbourg Verlag 1984. 2. Auflage. 195 Seiten, 93 Bilder

Es werden Asynchron- und Synchronmotoren behandelt. Dabei wird einheitlich von den Eigenschaften und Kennwerten ausgegangen und das statische und dynamische Betriebsverhalten untersucht. Es werden die Termini, wie Winkelbeschleunigung, zulässige Stromanstiegsgeschwindigkeit und dynamisches Leistungsvermögen behandelt. Sonderbauformen, wie Servormotoren, Torque-Motoren, 2-Phasenmotoren werden beschrieben.
Für die 3 Motorarten erfolgt die mathematische Beschreibung des statischen und dynamischen Betriebsverhaltens mit Herleitung der Strukturbilder und der Gleichungen zur Beschreibung des dynamischen Verhaltens. Wertvoll ist die Darstellung von Rechenbeispielen, die vor allem für Studierende ein tiefes Eindringen in den Stoff ermöglicht.
Die Beschreibung der Drehstrommaschinen geschieht auf der Basis der Raumzeigerbeschreibung. Hervorzuheben ist die Zustandsbeschreibung der Asynchronmaschine zur Berechnung der Stabilitätsgrenzen. Schließlich wird noch der Stromrichterbetrieb der Asynchronmaschine dargestellt.
Knapper ist das Kapitel über Synchronmaschinen gehalten. Auch hier werden die Gleichungen für statischen und dynamischen Betrieb und das Strukturbild hergeleitet und Schlußfolgerungen für die Blindstromregelung gezogen.
Ein ausführliches Literaturverzeichnis ergänzt den Inhalt.

P.-K. Budig, Karl-Marx-Stadt EA 2142

Elektrische Antriebstechnik

Band 1

Asynchronmaschinen im Netzbetrieb und drehzahlgeregelte Schleifringläufermaschinen

Berlin, Heidelberg, New York, Tokio: Springer Verlag 1985. 151 Seiten, 121 Bilder, 14 Tafeln

Der vorliegende erste Band des zweibändigen Werkes „Elektrische Antriebstechnik" basiert nach Angaben des Verfassers im wesentlichen auf seinem Vorlesungsstoff. Das Buch ist sehr anschaulich geschrieben und beschränkt sich in der Stoffauswahl auf die, besonders für die Projektierung und Betriebsführung von Antrieben, wesentlichen Zusammenhänge. Dabei nehmen für die Auswahl der Antriebssysteme neben elektrischen Kenngrößen auch solche, die konstruktiv, betriebstechnisch und schutztechnisch mitbestimmend sind, einen wichtigen Platz ein. Der Verfasser schafft ein gutes Verständnis für die Zusammenhänge, die bei Einsatz der elektrischen Antriebe nach technisch-ökonomischen Gesichtspunkten ausschlaggebend sind. Der Inhalt gliedert sich in vier Kapitel. Im ersten Kapitel wird der Leser in die das Antriebssystem kennzeichnenden Komponenten eingeführt. Dabei werden die charakteristischen Parameter, die Maschinengruppen und Leistungsbereiche dargestellt.
Im zweiten Kapitel über „Elektrische Antriebe ohne kontinuierliche Drehzahlsteuerung" werden der Anlauf, das Betriebsverhalten und Bremsen des Asynchronmotors mit Käfigläufer beschrieben. Aus dem Vergleich von Maschinen der Schutzart IP 23 mit denen von IP 44, aus der Gegenüberstellung der Belastung beim Anlauf von Normalmaschinen mit polumschaltbaren Motoren und aus dem Abschnitt über die Geräusche an elektrischen Maschinen, kann der Leser viele nützliche Hinweise entnehmen. Anerkennenswert ist auch die Aufnahme eines Abschnittes über mechanische und elektrische Beanspruchungen, wie sie bei Schaltvorgängen auftreten. Ausführlich beschreibt der Verfasser die thermischen Vorgänge in elektrischen Maschinen, allerdings noch auf der Grundlage des Einkörpermodells, und gibt eine Reihe von Hinweisen auf schutztechnische Maßnahmen.
Im dritten Kapitel werden die „Verfahren zur Drehzahlbeeinflussung mit geringem Aufwand" behandelt. Dabei wird auf die Spannungssteuerung der Asynchronmotoren, die Widerstandssteuerung der Schleifringläufermotoren und ausführlich auf die untersynchrone Stromrichter-Kaskade eingegangen. Dabei werden auch die Einflüße durch Stromoberschwingungen, die durch das leistungselektronische Stellglied hervorgerufen werden, erläutert. Weiterhin wird den Schaltungen für doppeltgespeiste Drehstrommaschinen in Verbindung mit

den verbesserten Möglichkeiten durch die Stromrichtertechnik eine bemerkenswerte Aufmerksamkeit geschenkt.
Im letzten Kapitel betrachtet der Verfasser „Stromrichter-Kaskaden mit gegenläufigen, untersynchronen und übersynchronen Betrieb". Diese Antriebe ermöglichen größere Stellbereiche, erfordern jedoch den Einsatz eines Umrichters, wobei hier der kostengünstige Stromzwischenkreisumrichter in Betracht kommt. Zu den vorgestellten Schaltungen werden in anschaulicher Weise Leistungsfluß-Diagramme angegeben und Grundstrukturen der Regelung erläutert.
Insgesamt stellt der erste Band eine gelungene Zusammenstellung der wichtigen Grundschaltungen mit Asynchronmotoren dar, die für das Kennenlernen der wesentlichen Zusammenhänge und ihren Einsatz bestimmend sind. Das Buch zeichnet sich durch eine anschauliche und praxisorientierte Darstellungsweise aus.

J. Vogel, Magdeburg EA 2126

Lernende Steuerungen

Von *W. Weller*. Berlin: VEB Verlag Technik. 1. Auflage 1985. 416 Seiten, 268 Bilder, 60 Tafeln. Leinen 48,— Mark.
Bestell.-Nr. 553 471 9

Lernfähigkeit ist in den letzten Jahrzehnten in Wissenschaft und Technik sehr bedeutsam geworden und interessiert heute in einer außerordentlichen Breite. In dem vorliegenden Buch werden zwar hauptsächlich die Automatisierungstechniker angesprochen, aber der Gegenstand hat auch Beziehungen zu vielfältigen Gebieten, in denen die künstliche Intelligenz interessiert.
Da der Stoff vorwiegend im Hinblick auf implementierbare Lösungen ausgewählt wurde, ist bei hohem theoretischen Anspruch dennoch jegliches Theoretisieren vermieden worden. Dadurch erhält der Leser, ob er in der Forschung, Praxis oder in der Anwendung lernender Steuerungen tätig ist, und auch der Student einschlägiger Fachrichtungen, Prinzipien, Modelle und Algorithmen in die Hand, mit denen er einen Überblick zum Gegenstand gewinnt, vor allem aber praktisch arbeiten kann. Die zahlreichen praktischen Beispiele unterstreichen diesen Charakter.
Der Autor geht von straff gefaßten Grundlagen zu speziellen Systemen über. Der erkenntnistheoretische Zugang wie der automatentheoretische werden aus der Sicht ihrer praktischen Konsequenzen bewertet. Neue Adaptionsalgorithmen und vielfache neue Vorschläge, die auf die effektive Realisierung lernender Steuerungen zielen, belegen die Effizienz des Stoffes. Die Handschrift des erfahrenen Hochschullehrers ist deutlich spürbar.
Solch eine Monographie, die bei der gegenwärtigen starken Bewegung des Gebietes anwendbare Grundlagen behandelt und implementierbare Lösungen vorschlägt, schließt eine spürbare Lücke, ist im Hinblick auf die rasche Entwicklung der Mikroelektronik und Mikrorechentechnik hoch aktuell und schafft eine ausgezeichnete Grundlage für weiterreichende Arbeiten. Dies gilt für lernfähige regelungstechnische Systeme aber, obwohl der Autor nicht vorrangig darauf zielt, auch für die Theorie der lernfähigen Systeme selbst bis zur Theorie der strategischen Entscheidungen.
Das Buch gliedert sich in die Teile ausgewählte Grundlagen, lernfähige analoge Systeme, lernfähige binäre Systeme und lernfähige diskrete Systeme. Ein umfangreiches gut zusammengestelltes Literaturverzeichnis und ein Sachwörterverzeichnis schließen es ab.
Diesem Titel ist eine gute Aufnahme zu wünschen.

E. Muschick, Zittau EA 2137

Logischer Entwurf binärer Systeme

Von *H. J. Zander*. Berlin: VEB Verlag Technik 1985. 2. bearbeitete Auflage, 267 Seiten

Mit dem verstärkten Einsatz der Mikroelektronik in der Rechen-, Fernsprechvermittlungs-, Signal- und Sicherungstechnik sowie in weiten Bereichen der Maschinen- und Anlagenautomatisierung und den daran gebundenen Bestrebungen, die Entwicklung und Projektierung der entsprechenden Einrichtungen durch den Einsatz von CAD-Systemen zu effektivieren, hat der systematische Entwurf binärer Systeme als Alternative zu intuitiven Vorgehensweisen stark an Bedeutung gewonnen. Das Vorliegen eines Buches zu diesem Thema, das über die klassischen Entwurfsmethoden hinausgehend, ordnend und orientierend einen tieferen Einblick in die Probleme des logischen Entwurfs auch größerer sequentieller Systeme vermittelt, entspricht deshalb einem echten praktischen Bedürfnis und ist deshalb sehr zu begrüßen. Seine Besonderheiten gegenüber konventionellen Darlegungen der Entwurfsproblematik bestehen:

- in der Verwendung verallgemeinerter Automatenmodelle und praktikabler Beschreibungsmittel als Basis für die Beschreibung binärer Systeme der Automatisierungs- und Rechentechnik
- in der Zugrundelegung eines einheitlichen Synthesekonzepts für synchrone und asynchrone, sowie statische und dynamische Betriebsarten von Automaten
- in ausführlichen Untersuchungen zur Erkennung und Vermeidung von dynamischen Störeffekten, wie Funktionshasards, Strukturhasards und Wettläufen
- in der Bereitstellung algorithmischer Verfahren zum Entwurf auf der Basis moderner schaltungstechnischer Realisierungen, wie programmierbare logische Felder (PLA) und universelle Logik-Moduls (ULM)
- in der automatentheoretischen Beschreibung von Mikroprozessoren und der Darlegung des prinzipiellen Vorgehens beim Entwurf von Mikroprogrammsteuerungen sowie
- in der Zusammenstellung von Möglichkeiten zur Programmierung binärer Systeme auf der Grundlage von Assemblersprachen und Fachsprachen.

Als zusätzliches Arbeitsmittel ist für den Leser ein 246 Positionen umfassendes nach Sachgebieten geordnetes Literaturverzeichnis bereitgestellt.
In der vorliegenden zweiten Auflage wurde vor allem der Abschnitt „Mikroprozessoren und programmtechnische Realisierung binärer Systeme" völlig neu bearbeitet und im Umfang erweitert. Dafür wurden andere Abschnitte gestrafft und auf die Darstellung spezieller konventioneller Methoden z. B. zur Minimierung von Systemen Boolescher Ausdrücke und zur Zustandskodierung verzichtet.
Obwohl das Buch im wesentlichen nur Grundkenntnisse in der Schaltalgebra und in der Mengenlehre voraussetzt, erfordert seine Durcharbeitung ein konzentriertes Studium, das aber durch zahlreiche eingestreute praktische Beispiele erleichtert wird.
Ingesamt gesehen vermittelt es Entwurfs- und Projektierungsingenieuren sowie Programmierern und Mathematikern wertvolle Anregungen für ihre Arbeit. Darüber hinaus kann es auch Studierenden der Informations- und Automatisierungstechnik helfen, ihr Wissen zu vertiefen. Seine Anschaffung ist zu empfehlen.

E. Habiger, Dresden EA 2153

Elektronik-Aufgaben

Von *H. Brauer* und *C. Lehmann*. Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1985. 1. Auflage. 256 Seiten, 352 Bilder, 32 Tabellen, 7 Tafeln. Pappeinband 25,— Mark

Die immer umfangreichere Anwendung der Elektronik, insbesondere der Mikroelektronik, in fast allen Bereichen der Volkswirtschaft, erfordert von jedem Techniker, sich auch elektronische Kenntnisse anzueignen. Diesem Anliegen trägt die vorliegende Elektronik-Aufgabensammlung Rechnung, indem vorwiegend für die Belange des Praktikers und des in der Ausbildung stehenden Technikers, eine Reihe von Übungsaufgaben aus dem Bereich der Analog- und Digitaltechnik angeboten werden.
Im ersten Kapitel sind die Grundlagen elektronischer Bauelemente (Widerstände, Kondensatoren, Dioden, Thyristoren, Triac, Transistoren, optoelektronische Bauelemente und integrierte Schaltkreise) zusammenfassend dargestellt, die wichtigsten Daten der gebräuchlichsten Bauelemente aufgeführt und Dimensionierungshinweise gegeben. Im die Analogtechnik behandelnden zweiten Kapitel wird eine Beschränkung auf

- spezielle Berechnungsmethoden
- Grundschaltung der Verstärkertechnik und
- aktive *RC*-Schaltungen

vorgenommen, wobei die Fülle elektronischer Problemstellungen naturgemäß eine Konzentration auf oft wiederkehrende Aufgabenstellungen aus dem Gebiet der Gleichstrom- und Niederfrequenztechnik notwendig machte.
Kapitel 3 (Digitale Schaltungen) beschäftigt sich mit binären Grundschaltungen und deren Techniken, rückgekoppelten Schaltungen und komplexen Schaltungen und gibt auch hier neben Schaltungsdetails und -parametern eine Reihe von Realisierungshinweisen.
Es können mit 343 Übungsaufgaben und deren Lösungen die erworbenen Kenntnisse

überprüft und vertieft werden, wobei die getroffene Auswahl durch ihren steigenden Schwierigkeitsgrad zur weiteren Beschäftigung mit der Elektronik anregt.
Die mathematischen Anforderungen an den Lesenden sind bewußt gering gehalten und übersteigen, obwohl moderne Verfahren der Schaltungsanalyse und -synthese einbezogen wurden, die einer fachspezifischen Berufsausbildung nicht.
Gerade ein mit Interesse in die Elektronik einsteigender Leser findet in dieser Aufgabensammlung neben den leichtverständlich dargestellten Grundlagen und einer Reihe von Übungsaufgaben auch die wichtigsten Dimensionierungsregeln des Fachgebietes. In einer zu erwartenden zweiten Auflage sollten jedoch die den positiven Gesamteindruck nicht mindernden kleineren Unkorrektheiten beseitigt werden, da gerade diese einen Lernenden oft vor Probleme stellen.
Mit der vorliegenden Aufgabensammlung wird eine spürbare Lücke im Fachbuchhandel der DDR geschlossen. Obwohl die Verfasser auf einen in der Ingenieurausbildung stehenden elektronisch interessierten Leser zielen, gibt das Werk auch dem Praktiker wertvolle Anregungen und ist außerdem für Hochschulstudenten anderer Fachrichtungen äußerst interessant.

E. Pilz, Zittau EA 2136

Echtzeitprozeßmodelle auf der Basis von Parameterschätzverfahren

Reihe Automatisierungstechnik, Band 214

Von *J. Wede; D. Werner*. Berlin: VEB Verlag Technik 1985. 1. Auflage. 96 Seiten. Broschur 4,80 Mark. Bestell-Nr. 5534778

In diesem Buch wird das Ziel verfolgt, die Möglichkeiten des immer breiter gewordenen Einsatzes von Mikrorechnern in der Steuerungs- und Regelungstechnik voll auszunutzen. Er werden Methoden zur Identifizierung von technischen Prozessen im Echtzeitbetrieb mit Hilfe von Parameterschätzverfahren vorgestellt.
Die hier angewandte Vorgehensweise setzt voraus, daß die Differentialgleichung, die das System beschreibt, bekannt sein muß. Es wäre wünschenswert, auch andere Methoden, wie die Bestimmung der Gewichtsfunktion mit Hilfe von PLACKETT-BURMAN-Plänen, mit aufzunehmen.
Sehr gut erläutert wird in dem Buch der Übergang von kontinuierlicher zu diskreter Beschreibung des Systeme. Die Diskretisierung der Beschreibung ist die Grundlage für die Anwendung der modernen Rechentechnik, bringt aber Schwierigkeiten mit sich — z. B. Zuordnung der Werte einer Treppenfunktion zu einem bestimmten Zeitpunkt-, die in jedem Anwendungsfall gemeistert werden müssen.
Die einzelnen Parameterschätzverfahren sind in relativ kurzer, rechnerorientierter Form an Beispielen erläutert. Es besteht auch die Möglichkeit zum genaueren Kennenlernen der Parameterschätzverfahren in einem theoretischen Teil. Besonders angenehm ist der Anhang, der wichtige Grundlagen zum Arbeiten mit der z-Transformation und mit Matrizen enthält.
Dieses Buch ist nützlich für Ingenieure und Studenten auch anderer Fachrichtungen als der Automatisierungstechnik.

M. Alicke, Dresden EA 2197

Mathematische Methoden in der sozialistischen Wirtschaft

Von *H. Fischer* und *R. Schwarz*. Berlin: Dietz Verlag 1985. 192 Seiten, 21 Bilder, 15 Tafeln. 6,20 Mark

Auf der Basis von praxisbewährten Projekten, die von 20 führenden Vertretern auf dem Gebiet der Mathematik und Rechentechnik in der Wirtschaft ausgewertet wurden, haben die Autoren überzeugend die Möglichkeiten und Erfordernisse sowie den konkreten Stand der Mathematisierung wirtschaftlicher Entscheidungen und Abläufe in der DDR untersucht. Mathematik und Rechentechnik sind inzwischen zentrale Fragen des wissenschaftlich-technischen Fortschrittes geworden und üben damit entscheidenden Einfluß auf die intensiv erweiterte Reproduktion aus. Die Autoren behandeln — ausgehend von den neuen ökonomischen Anforderungen — die Richtungen und ökonomischen Wirkungen der rechnergestützten Informationsverarbeitung. Die Potenzen der Verbindung von Mathematik und Rechnern und die mathematische Modellierung auf allen Ebenen der Wirtschaft stehen im Mittelpunkt. Mit der Analyse der Hauptanwendungsgebiete Technologie, Materialökonomie, Grundfonds und Arbeitsvermögen, Leitung und Planung wird am Beispiel vieler Kombinate und der Staatlichen Plankommission das Spektrum bereits vorhandener Lösungsprojekte und noch zu lösender Probleme verdeutlicht.
Nach dieser informativen Einordnung behandeln die Autoren im 2. Kapitel ausgewählte Beispiele zur Nutzung mathematischer Methoden für die zentrale staatliche Planung, die Industriekombinate, das Verkehrswesen und die Landwirtschaft.
Die Natural-Wert-Verflechtungsbilanz und die Brennstoff-Energie-Bilanz werden dabei ebenso erörtert wie die Produktionsplanoptimierung, das Programmsystem AUTRA und Fertigungssteuerungslösungen. Die 18 ausgewerteten, erfolgreich in Nutzung befindlichen Projekte basieren auf Optimierungs- und Simulationsmethoden sowie auf der mathematischen Statistik und der linearen Algebra.
Im 3. Kapitel wird die Anwendung mathematischer Methoden in der Wirtschaft in bezug auf erreichte Breitenwirksamkeit, Hauptanwendungsgebiete, mathematischen Apparat, verfügbare Kader und Rechentechnik einer kritischen Analyse unterzogen. Die sich anschließende Verallgemeinerung der Erfahrungen fortgeschrittener Anwender ist dabei besonders richtungsweisend. Anhand fortgeschrittener CAD/CAM-Softwarelösung, Rechner-Dialog und neuer mathematischer Lösung schließen die Autoren die überzeugenden und informativen Darstellungen ab. Jeder Wirtschaftskader und diesbezüglich tätige Wissenschaftler sollten den großen Erfahrungsschatz für sich nutzbar machen.

G. Peißker, Halle-Neustadt EA 2143

Notbeleuchtung

Von *B. Weiß*. München: Pflaum-Verlag KG 1985. 191 Seiten, 83 Bilder

Der Versuch, das Thema Notbeleuchtung umfassend darzustellen, führte zu einem Nachschlagewerk, das Fachleuten der Beleuchtungstechnik bei Beleuchtungsprojektierungen hilft. In erster Linie wendet sich aber das Buch an diejenigen, die bei Neuinvestitionen über die Notwendigkeit und Art der Notbeleuchtung zu entscheiden haben, also auch an Nichtfachleute auf lichttechnischem Gebiet.
Vor allem wird eine Einheitlichkeit der Begriffe für die BRD angestrebt, ebenso wie sie in der DDR in der TGL 200-0636 „Notbeleuchtung" festgelegt sind. Allerdings stimmen die Begriffe in beiden Schriften nicht überein.
Die elektrotechnischen und lichttechnischen Anforderungen an die einzelnen Arten der Notbeleuchtung und die entsprechenden Lösungsmöglichkeiten werden umfassend dargestellt. Besonders intensiv werden die lichttechnischen Anforderungen an die Sicherheitsbeleuchtung für Rettungswege behandelt und dabei auf Untersuchungen in vielen Ländern zurückgegriffen. Kosten- und Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen und Zukunftsaussichten zum Einsatz neuer Lampen für die Notbeleuchtung runden die Darstellung ab.

R. Baer, Berlin EA 2131

(Berechnung elektrischer Stromkreise Arbeitsbuch)

Von *K. Lunze*. Berlin: VEB Verlag Technik 1985. 312 Seiten, 278 Bilder, 24 Tafeln, 2 Beilagen. Kunststoff 25,50 Mark. Bestell-Nr. 552 757 8

Die nunmehr erschienene 13., durchgesehene Auflage dieses Buches bestätigt eindrucksvoll seinen Wert für den Elektrotechniker. Die bereits für die 11. Auflage vorgenommene völlige Umarbeitung zur Schaffung einer komplexen Einheit Lehrbuch — Arbeitsbuch in Verbindung mit der vom gleichen Autor erschienenen „Theorie der Wechselstromschaltungen" hat sich als sinnvoll erwiesen, wird doch hierdruch das praxisbezogene Lernen und die Aneignung einer entsprechenden Routine bei der Berechnung von Stromkreisen vereinfacht.
Die Gliederung umfaßt alle Gebiete der Wechselstromtechnik, die Darstellung von Lösungswegen ist übersichtlich und eindeutig gestaltet und die Darstellung der Ergebnisse regt zu eigenen Analogiebetrachtungen an.
Im Abschnitt „Allgemeine Grundlagen zur Berechnung elektrischer Kreise" wird neben Grundbeziehungen und allgemeinen Berechnungsverfahren die Berechnung von Gleichstromkreisen nochmals einführend behandelt.
Weitere Abschnitte befassen sich mit der Berechnung linearer Stromkreise bei sinusförmiger Erregung, der Berechnung linearer Kreise bei mehrwelliger Erregung und der Berechnung linearer Kreise bei Schaltvorgängen.

R. Wolf, Magdeburg EA 2144

Documentation

Streubel, H.; Beier, H.: **Influence of Dry and Mechanical Cleaning Methods on the Mechanical Strength of Insulators**

ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 4, pp. 125—128, 7 Figs., 5 Tables, 4 Refs.

The influence of mechanical, dry, and combined cleaning methods on glaze and mechanical strength of the insulators is studied. From the results conclusions are made regarding to the expected life of network insulations, which are cleaned often.

Chrzan, K.; Pohl, Z.; Berndt, L.: **Comparison of Artificial and Natural Pollution Layers**

ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 4, pp. 128—130, 6 Figs., 4 Equations, 4 Refs.

In measuring pollution layer characteristics in laboratories it must be considered, that different sparking voltages may be resulting for pollution layers of different chemical composition, although the measuring values of the layer conductivity $\varkappa_S$ respectively the ones of the equivalent salt deposit density ESDD are equally.

Laßwitz, G.; Kliemank, E.: **Laboratory and Open-Air Tests with Synthetic Insulators**

ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 4, pp. 130—132, 5 Figs., 2 Tables, 2 Refs.

Conditional on material and construction synthetic insulators are loaded in a high measure through pollution layers. That's why the testing of the pollution layer behaviour is very important. The determined sparking and withstand voltages are corresponding to the requirements. The open-air tests point out, that the insulating capacity of the synthetic insulators was maintained during the testing period.

Welich, D.; Böhme, H.: **Disturbance Arcs in Medium Voltage Cubicles and Its Influence on the Short-Circuit Current Behaviour**

ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 4, pp. 133—136, 7 Figs., 10 Refs.

Statistical investigations of the disturbance arc formation in medium voltage cubicles give the result, that the non-simultaneous arc development and the arc resistance are influencing the impulse current. For tests regarding to arc protection the height of the impulse current is proposed.

Oswald, B.; Pfeiler, V.; Schulz, W.: **Instructions and Methods of Short-Circuit Current Computation of Three-Phase Systems**

ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 4, pp. 136—141, 7 Figs., 13 Equations, 24 Refs.

A comparing survey of the standardized computing methods of the initial short-circuit a.c. corresponding to TGL 200-0604 IEC-TC 73 and VDE 0102 is given. Thereby the method of the impedance correction for great station blocks and the consideration of motoric consumers are dealt with in detail. By means of computing examples a calculation of the precision of the standardized methods is done.

Rausendorf, S.: **Application of the Linear Optimization in Optimizing the Electric Regime Oriented to Reliability**

ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 4, pp. 141—145, 3 Figs., 24 Equations, 6 Refs.

A model, linearized by means of the Taylor series expansion, of optimizing a preventive regime, the network reserve, and the operating costs is developed. To this the simplex algorithm is used. The method is realized in a digital computing programme for ESER. The reached results are satisfactory with regard to the precision, and the necessary computing time could be reduced significantly.

Biesenack, H.; Andrae, U.; Neundorf, R.: **To the Material Economy of Electrical Machines**

ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 4, pp. 146, 1 Ref.

Material economical solutions of electrical machines are connected with remarkable economical effects, caused by its extended using area. By example of high-voltage asynchronous motors operating mode and reachable effects are indicated.

Berger, Th.: **Carbon Brushes of D.C. Micromotors with Hollow Rotor**

ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 4, pp. 147—148, 3 Figs., 4 Refs.

D.c. micromotors with hollow rotor have substantial advantages opposite conventional motors with slotted rotors in using in modern products of the device industry. These advantages wil be effective only in such cases, when the special requirements are taken into consideration, which such motors make with regard to the carbon brushes. Starting from these requirements on the development of an optimum brush and its properties is reported.

Joachim, W.; Höhne, B.; Willnow, U.: **Carbon Brushes for Selected Low-Voltage Motors**

ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 4, pp. 149—151, 3 Figs., 5 Tables, 6 Refs.

In low-voltage motors with a rated voltage of 24 V-metal-graphite-brushes are used, especially, whereby the metal portion, copper as a rule, may average up to 80 %. Results with new carbon brushes, the copper portion of which averages 50 % in maximum, in micromotors and forced-induction engines are illustrated.

Документация

Штройбель, Х.; Байер, Х.: **Влияние химических и механических способов чистки на механическую прочность изоляторов**

ELEKTRIE, Берлин 40 (1986) 4, стр. 125—128, 7 рис., 5 табл., 4 лит.

Исследуется влияние механических, химических и комбинированных способов чистки на поливу и механическую прочность изоляции. На основе полученных результатов делаются выводы относительно ожидаемого срока службы изоляций в сети, часто подвергаемых чистке..

Хрцан К.; Поль, Ц.; Берндт, Л.: **Сравнение искусственных и природных загрязнений**

ELEKTRIE, Берлин 40 (1986) 4, стр. 128—130, 6 рис., 4 уравн., 4 лит.

При проведении измерений характеристик по загрязнению в лаборатории необходимо иметь в виду, что, несмотря на одинаковые измерительные данные по проводимости загрязнений $\varkappa_S$ и соответственно, по эквивалентной плотности соляных отложений ESDD для различных химических составов загрязнений могут быть получены разные значения напряжения перекрытия.

Ласвитц, Г.; Климанк, Э.: **Лабораторные и полевые экспериментальные исследования пластмассовых изоляторов**

ELEKTRIE, Берлин 40 (1986) 4, стр. 130—132, 5 рис., 2 табл., 2 лит.

Пластмассовые изоляторы подвержены сильной накрузке от загрязнений в силу их материала и устройства. Поэтому особое внимание придается испытанию на характеристику по загрязнению.
Полученные значения напряжения перекрытия и предельного импульсного напряжения, выдерживаемого изоляцией отвечают заданным требованиям. Полевые исследования подтверждают сохранение в опытном периоде времени изоляционной способности пластмассовых изоляторов.

Велих, Д.; Бёме, Х.: **Возмущающие электрические дуги в ячейках распределительных устройств среднего напряжения и их влияние на характеристику тока короткого замыкания**

ELEKTRIE, Берлин 40 (1986) 4, стр. 133—136, 7 рис., 10 лит.

Статистические исследования образования возмущающих электрических дуг в ячейках распределительных устройств среднего напряжения показывают, что неодновременное образование электрических дуг и активное сопротивление электрических дуг оказывают влияние на ударный ток. Предлагается величина ударного тока для испытаний на защиту от электрической дуги.

Освальд, Б.; Пфайлер, В.; Шульц, В.: **Правила и методы расчета тока короткого замыкания для трехфазных систем**

ELEKTRIE, Берлин 40 (1986) 4, стр. 136—141, 7 рис., 13 уравн., 24 лит.

Дается сравнительный обзор стандартизованных методов расчета начального переменного тока короткого замыкания по TGL 200-0604, МЭК-ТС 73 и VDE 0102. При этом, в частности, рассматривается метод коррекции импеданса для больших энергетических блоков и учет моторных потребителей. На основе примеров расчета дается оценка точности стандартизованных методов.

Раузендорф, З.: **Применение линейной оптимизации для ориентированной на надежность оптимизации электрического режима**

ELEKTRIE, Берлин 40 (1986) 4, стр. 141—145, 3 рис., 24 уравн., 6 лит.

Разрабатывается линеаризированная при помощи разложения в ряд Тейлора модель для оптимизации превентивного режима, сетевого запаса и эксплуатационных издержек. Для этого применяется симплексный алгоритм. Метод реализован в виде цифровой программы для машины ЕС ЭВМ. Полученные результаты по своей точности являются удовлетворительными, требуемое время расчета было существенно снижено.

Бизенак, Х.; Андрэ, У.; Нойндорф, Р.: **По вопросу экономии материальных затрат для электрических машин**

ELEKTRIE, Берлин 40 (1986) 4, стр. 146, 1 лит.

Решения по экономии материальных затрат для электрических машин, в виду их распространенности связаны с существенными народнохозяйственными эффектами. На примере высоковольтных асинхронных двигателей показываются подход к решению и достигаемые эффекты.

Бергер, Т.: **Угольные щетки для микродвигателей постоянного тока с полым ротором**

ELEKTRIE, Берлин 40 (1986) 4, стр. 147—148, 3 рис., 4 лит.

Микродвигатели постоянного тока с полым ротором обладают существенными преимуществами по сравнению с традиционными двигателями с раздельным ротором при применении их в современных изделиях промышленности приборостроения.
Указанные преимущества, однако, проявляются полностью только тогда, когда учитываются специальные требования, предъявляемые подобными двигателями к угольным щеткам. Основываясь на этих требованиях, докладывается о разработке оптимизированной щетки и ее свойствах.

Йоахим, В.; Хёне, Б.; Вильнов, У.: **Угольные щетки для двигателей пониженного напряжения**

ELEKTRIE, Берлин 40 (1986) 4, стр. 149—151, 3 рис., 5 табл., 6 лит.

В двигателях пониженного напряжения с номинальным напряжением = 24 В преимущественно применяются металло-графитовые щетки, причем доля металла — в большинстве случаев меди — может составлять до 80 %. Представляются результаты, полученные от применения в микродвигателях и вентиляторных двигателях новых угольных щеток, доля меди в которых составляет максимально 50 %.

Dokumentation

Streubel, H.; Beier, H.: **Einfluß chemischer und mechanischer Reinigungsverfahren auf die mechanische Festigkeit von Isolatoren**

ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 4, S. 125—128, 7 Bilder, 5 Tafeln, 4 Lit.

Es wird der Einfluß mechanischer, chemischer und kombinierter Reinigungsverfahren auf Glasur und mechanische Festigkeit der Isolierungen untersucht. Aus den Ergebnissen werden Schlußfolgerungen hinsichtlich der zu erwartenden Lebensdauer häufig gereinigter Isolierungen im Netz gezogen.

Chrzan, K.; Pohl, Z.; Berndt, L.: **Vergleich künstlicher und natürlicher Fremdschichten**

ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 4, S. 128—130, 6 Bilder, 4 Gln., 4 Lit.

Bei der Messung von Fremdschicht-Kennlinien im Labor ist zu beachten, daß sich trotz gleicher Meßwerte für die Schichtleitfähigkeit $\varkappa_S$ bzw. für die äquivalente Salzablagerungsdichte ESDD für verschiedene chemische Zusammensetzungen der Fremdschicht unterschiedliche Überschlagspannungen ergeben können.

Laßwitz, G.; Kliemank, E.: **Laboratoriums- und Freiluftversuche mit Kunststoffisolatoren**

ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 4, S. 130—132, 5 Bilder, 2 Tafeln, 2 Lit.

Bedingt durch Material und Aufbau werden Kunststoffisolatoren durch Fremdschichten hoch beansprucht. Der Prüfung des Fremdschichtverhaltens kommt deshalb besondere Bedeutung zu.
Die ermittelten Überschlag- und Stehspannungen entsprechen den Forderungen. Die Freiluftversuche zeigen, daß das Isoliervermögen der Kunststoffisolatoren im Versuchszeitraum erhalten blieb.

Welich, D.; Böhme, H.: **Störlichtbögen in Mittelspannungs-Schaltzellen und deren Einfluß auf den Kurzschlußstromverlauf**

ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 4, S. 133—136, 7 Bilder, 10 Lit.

Statistische Untersuchungen zur Störlichtbogenausbildung in Mittelspannungs-Schaltzellen zeigen, daß die ungleichzeitige Lichtbogenentwicklung und die Lichtbogenresistanz den Stoßstrom beeinflussen. Für Prüfungen auf Lichtbogenschutz wird die Höhe des Stoßstromes vorgeschlagen.

Oswald, B.; Pfeiler, V.; Schulz, W.: **Vorschriften und Verfahren zur Kurzschlußstromberechnung für Drehstromsysteme**

ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 4, S. 136—141, 7 Bilder, 13 Gln., 24 Lit.

Es wird ein vergleichender Überblick über die standardisierten Berechnungsverfahren für den Anfangskurzschlußwechselstrom nach TGL 200-0604 IEC-TC 73 und VDE 0102 gegeben. Dabei wird besonders auf das Verfahren der Impedanzkorrektur für große Kraftwerksblöcke und die Berücksichtigung motorischer Abnehmer eingegangen. Anhand von Berechnungsbeispielen erfolgt eine Genauigkeitseinschätzung der standardisierten Verfahren.

Rausendorf, S.: **Anwendung der Linearoptimierung bei der zuverlässigkeitsorientierten Optimierung des elektrischen Regimes**

ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 4, S. 141—145, 3 Bilder, 24 Gln., 6 Lit.

Es wird ein mittels TAYLOR-Reihenentwicklung linearisiertes Modell zur Optimierung eines Präventivregimes, der Netzreserve und der Betriebskosten entwickelt. Hierfür kommt der Simplexalgorithmus zum Einsatz. Das Verfahren ist in einem digitalen Rechenprogramm für ESER realisiert. Die damit erhaltenen Ergebnisse sind in ihrer Genauigkeit zufriedenstellend und die notwendige Rechenzeit wurde deutlich gesenkt.

Biesenack, H.; Andrae, U.; Neundorf, R.: **Zur Materialökonomie bei elektrischen Maschinen**

ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 4, S. 146, 1 Lit.

Materialökonomische Lösungen bei elektrischen Maschinen sind aufgrund ihrer Verbreitung mit beachtlichen volkswirtschaftlichen Effekten verbunden. Am Beispiel von Hochspannungsasynchronmotoren werden Vorgehensweise und erreichbare Effekte aufgezeigt.

Berger, Th.: **Kohlebürsten für Gleichstrom-Mikromotoren mit Hohlläufer**

ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 4, S. 147—148, 3 Bilder, 4 Lit.

Gleichstrom-Mikromotoren mit Hohlläufer weisen wesentliche Vorteile gegenüber konventionellen Motoren mit genutetem Läufer für den Einsatz in modernen Erzeugnissen der Geräteindustrie auf. Diese Vorteile kommen jedoch nur voll zur Geltung, wenn die besonderen Anforderungen, die von derartigen Motoren an die Kohlebürste gestellt werden, beachtet werden. Ausgehend von diesen Forderungen wird über die Entwicklung einer optimierten Bürste und deren Eigenschaften berichtet.

Joachim, W.; Höhne, B.; Willnow, U.: **Kohlebürsten für ausgewählte Kleinspannungsmotoren**

ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 4, S. 149—151, 3 Bilder, 5 Tafeln, 6 Lit.

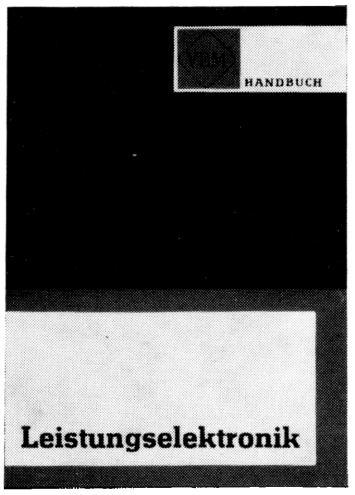
Auf Kleinspannungsmotoren mit einer Nennspannung = 24 V sind vorzugsweise Metall-Graphit-Bürsten eingesetzt, wobei der Anteil an Metall, meistens Kupfer, bis zu 80 % betragen kann. Ergebnisse mit neuen Kohlebürsten, deren Anteil an Kupfer maximal 50 % beträgt, auf Mikro- und Gebläsemotoren werden dargestellt.

ELEKTRIE

Herausgeber	Kammer der Technik, Fachverband Elektrotechnik
Verlag	VEB Verlag Technik DDR-1020 Berlin, Oranienburger Str. 13/14 Telegrammadresse: Technikverlag Berlin Telefon: 28700; Telex: 011 22 28 techn. dd
Verlagsdirektor	Dipl.-Ing. *Klaus Hieronimus*
Redaktion	Dr.-Ing. *Klaus Heide*, Verantwortlicher Redakteur (Telefon: 28703 45)
Lizenz-Nr.	1100 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der Deutschen Demokratischen Republik
Gesamtherstellung	III/18/328 Messedruck Leipzig, BT Borsdorf 7122 Borsdorf
Gestalter	*Eckhardt Natorp* (Telefon: 28 70 287)
Anzeigenannahme	Für Bevölkerungsanzeigen alle Anzeigenannahmestellen in der DDR, für Wirtschaftsanzeigen der VEB Verlag Technik, 1020 Berlin, Oranienburger Str. 13/14, PSF 201 Anzeigenpreisliste Nr. 7 Auslandsanzeigen: Interwerbung GmbH, DDR-1157, Berlin, Hermann-Duncker-Str. 89
Erfüllungsort und Gerichtsstand	Berlin-Mitte. Der Verlag behält sich alle Rechte an den von ihm veröffentlichten Aufsätzen und Abbildungen, auch das der Übersetzung in fremde Sprachen, vor. Auszüge, Referate und Besprechungen sind nur mit voller Quellenangabe zulässig.
AN (EDV)	6730
Erscheinungsweise Heftpreis	monatlich 1 Heft 2,50 M, Abonnementpreis vierteljährlich 7,50 M. Auslandspreise sind den Zeitschriftenkatalogen des Außenhandelsbetriebes BUCHEXPORT zu entnehmen.
Bezugsmöglichkeiten	
DDR	sämtliche Postämter
SVR Albanien	Direktorije Quendrore e Perhapjes dhe Propaganditit te Librit Rruga Konference e Pezes, Tirana
VR Bulgarien	Direkzia R. E. P., 11 a, Rue Paris, Sofia
VR China	China National Publications Import and Export Corporation, West Europe Department, P. O. Box 88 Beijing
ČSSR	PNS – Ústřédni Expedicia a Dovoz Tisku Praha, Slezská 11, 120 00 Praha 2 PNS, Ústredna Expedicia a Dovoz Tlače, Pošta 022, 885 47 Bratislava
SFR Jugoslawien	Jugoslovenska Knijiga, Terazije 27, Beograd; Izdavačko Knjižarsko Produzeće MLADOST, Ilica 30, Zagreb
Koreanische DVR	CHULPANMUL Korea Publications Export & Import Corporation, Pyongyang
Republik Kuba	Empresa de Comercio, Exterior de Publicationes, O'Reilly No. 407, Ciudad Habana
VR Polen	C. K. P. i. W. Ruch, Towarowa 28, 00-958 Warszawa
SR Rumänien	D. E. P. Bucaresti Piata Scinteii, Bucaresti
UdSSR	Städtische Abteilungen von Sojuzpečat' oder Postämter und Postkontore
Ungarische VR	P. K. H. I., Külföldi Elöfizetési Osztály, P. O. Box 16, 1426 Budapest
SR Vietnam	XUNHASABA 32, Hai Ba Trung, Hà Nôi
BRD und Berlin (West)	ESKABE Kommissions-Grossobuchhandlung, Postfach 36, 8222 Ruhpolding/Obb.; Helios Literatur-Vertriebs-GmbH, Eichborndamm 141 – 167, Berlin (West) 52; Kunst und Wissen Erich Bieber OHG, Postfach 46, 7000 Stuttgart 1; Gebrüder Petermann, BUCH + ZEITUNG INTERNATIONAL, Kurfürstenstraße 111, Berlin (West) 30
Österreich	Helios Literatur-Vertriebs-GmbH & Co. KG, Industriestraße B 13, 2345 Brunn am Gebirge
Schweiz	Verlagsauslieferung Wissenschaft der Freihofer AG, Weinbergstr. 109, 8033 Zürich
Alle anderen Länder	örtlicher Fachbuchhandel; BUCHEXPORT Volkseigener Außenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik, DDR-7010 Leipzig, Postfach 160; und Leipzig Book Service, DDR-7010 Leipzig, Talstraße 29

Neuauflagen

Auslieferung in diesen Tagen durch den Fachbuchhandel



VEM-Handbuch Leistungselektronik

Von einem Autorenkollektiv unter Leitung von Prof. em. Dr.-Ing. habil. Rudolf Lappe. Herausgegeben vom Zentrum für Forschung und Technologie des VEB Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin. 4., durchgesehene Auflage. 488 Seiten, 392 Bilder, 52 Tafeln, 1 Beilage, Kunstleder, DDR 34,— M, Ausland 45,— DM. Bestellangaben: 5532238/Lappe, VEM-Leistungselektro

Das Buch wendet sich vorrangig an die Anwender der Leistungselektronik. Behandelt werden Stromrichter zur Stromversorgung, Stromrichter für Antriebsregelungen, Stromrichter für technologische Prozesse, Anwendung der Leistungselektronik bei Konsumgütern. Eine Beschreibung der Leistungsdioden, Thyristoren und Transistoren, der wichtigsten Stromrichterschaltungen, der zum Betrieb der Stromrichter erforderlichen Informationseinrichtungen sowie einiger Baureihen von Geräten und Anlagen ist vorangestellt.

Theorie der Wechselstromschaltungen

Lehrbuch · Von Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus Lunze. 6., bearbeitete Auflage. 272 Seiten, 223 Bilder, 11 Tafeln, 1 Beilage, Kunstleder, DDR 22,50 M, Ausland 32,— DM. Bestellangaben: 5534524/Lunze, Schaltungen

Dieses Hochschullehrbuch behandelt die Vorgänge in Stromkreisen bei Wechselstrom (speziell bei sinusförmiger Erregung) mit Hilfe der Zeigerdarstellung und Ortskurven sowie über die komplexe Ebene mittels Bildfunktion. Lineare Kreise bei mehrwelliger Erregung sowie bei Schaltvorgängen werden in ihren Anfängen gebracht. Überarbeitet und vertieft wurden hauptsächlich die Abschnitte über Mehrphasensysteme und über Berechnung linearer Kreise bei mehrwelliger Erregung und bei Schaltvorgängen.

Elektrotechnische Anlagen in der Landwirtschaft

Von einem Autorenkollektiv. Herausgegeben von Doz. Dr. sc. techn. Peter Oberländer. 2., durchgesehene Auflage. 296 Seiten, 178 Bilder, 72 Tafeln, Pappband, DDR 28,— M, Ausland 28,— DM. Bestellangaben: 5531892/Oberländer, Anlagen

Das Buch gibt Antwort auf die Fragen, die mit der zunehmenden Elektrifizierung landwirtschaftlicher Produktionsprozesse, besonders bei der Rekonstruktion vorhandener und bei der Errichtung neuer Tierproduktionsanlagen entstanden sind. Gliederung: Bedeutung und Probleme der Elektroenergieanwendung in der Landwirtschaft · Elektroenergieversorgung · Projektieren elektrotechnischer Anlagen · Anlagen mit elektrischen Antrieben · Steuerung elektrotechnischer Anlagen · Beleuchtungs- und Heizungsanlagen · Errichten elektrotechnischer Anlagen · Betreiben elektrotechnischer Anlagen · Rationeller Einsatz der Elektroenergie.

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

Handbuch Meßtechnik und Qualitätssicherung

Von Prof. Dr.-Ing. habil. Dietrich Hofmann. 3., stark bearbeitete Auflage. 472 Seiten, 242 Tafeln, Leinen, DDR 54,— M, Ausland 68,— DM.
Bestellangaben: 5534655/Hofmann, Qualität

Das Standardwerk enthält in anschaulichen Übersichten die theoretischen Grundlagen und praktischen Anwendungen der modernen Meßtechnik und Qualitätssicherung. Schwerpunkte bilden dabei die Sensortechnik, Meßfehleranalyse und intelligente Meßdatenverarbeitung für Forschung und Produktion. Die Auflage berücksichtigt neue Entwicklungen und Standards.

ISSN 0013 — 5399
ELEKTRIE · Berlin 40 (1986) 4 · S. 121 — 160

6730 4 177 027 465
KOMB KERAM WERKE
8812 2001 0130 pf 1

Neuerscheinungen

Auslieferung in diesen Tagen durch den Fachbuchhandel

Digitale Schaltungen

Von Prof. Dr. sc. techn. Manfred Seifart. Hochschullehrbuch. 556 Seiten, 374 Bilder, 101 Tafeln, Leinen, DDR 40,— M, Ausland 48,— DM.
Bestellangaben: 5534604/Seifart, Digitale
Im Vordergrund steht der Aspekt der Anwendung. Der Umfang des dargebotenen Stoffes reicht vom einfachen Logikgatter bis zu den für die Handhabung des Mikrorechners unerläßlichen Grundlagen der Programmierung. Die zahlreichen Beispiele sind so gewählt, daß sie den in der Praxis üblichen Arbeitsmethoden entsprechen.
Hauptabschnitte: Einleitung · Zahlendarstellung und Grundrechenarten · Logikgatter · Schaltungsfamilien und deren Herstellungstechnologien · Rückgekoppelte Kippschaltungen · Kodewandler und Multiplexer · Zähler und Frequenzteiler · Anzeigeelemente und ihre Ansteuerschaltungen · Halbleiterspeicher · Anwendungen von Festwertspeichern · Programmierbare Logikanordnungen · Arithmetische Grundschaltungen · Mikroprozessoren und Mikrorechner (Hardware) · Mikroprozessoren und Mikrorechner (Software) · Hilfsschaltungen für digitale Systeme · Datenübertragung und Störeinflüsse · Entwurf digitaler Systeme.

Leistungselektrotechnische Anlagen

Wissensspeicher für die Berufsbildung
Von Dipl.-Ing.-Päd. Ernst-Otto Balding und Ing.-Päd. Frank Ponemunski. Etwa 128 Seiten, 230 Bilder, 38 Tafeln, Broschur, DDR etwa 4,— M, Ausland etwa 8,— DM.
Bestellangaben: 5532322/Balding, Anlagen
Für Lehrlinge, Werktätige in der Aus- und Weiterbildung, Berufspädagogen für die Lehrberufe Elektromonteur, Elektroinstallateur, Elektromaschinenbauer und Elektromechaniker. In kurzer, übersichtlicher Form werden folgende Stoffgebiete dargeboten: Bereitstellung und Verteilung der Elektroenergie · Leitungen und Kabel · Isolatoren · Elektrische Verbindungen · Schalter · Schutz, Überwachung und Steuerung von elektrischen Anlagen · Grundschaltungen und Ausführungsformen elektrischer Anlagen · Netzersatzanlagen.

Einführung in die Informationsverarbeitung

Von Gerhard Entreß und Liselotte Entreß. 312 Seiten, 340 Bilder, 110 Tafeln, Leinen, DDR 23,50 M, Ausland 36,— DM.
Bestellangaben: 5534698/Entreß, Information
Auf der Basis allgemeiner Grundkenntnisse über den Rechenprozeß wird der Leser sofort mit der Struktur einer Informationsverarbeitungsanlage bekannt gemacht. Behandelt werden vor allem Grundbegriffe und Wirkprinzipien der Technik der Informationsverarbeitung sowie Datenträger, Speicher, Prozessoren, Rechner, Datenübertragung, Rechnersysteme, Peripherie, Architekturen, Bauelemente und Betriebssicherheit.
Zahlreiche Beispiele runden die Thematik ab. Übungsaufgaben und deren Lösungen vertiefen den Stoff.

VT

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN